

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

уничтожение запахов и привкусов, имеющихся в природной воде, может быть проведено попутно. Однако при назначении дозы хлора должно быть учтено и количество его, необходимое для окисления микроорганизмов.

Для борьбы с запахами и привкусами, которые вызываются наличием в воде микроорганизмов, применяют также метод сорбционного фильтрования. Воду фильтруют через слой активированного угля, который сорбирует вещества, дающие запахи и привкусы. Объем загрузки фильтра из активированного угля в этом случае составляет 0,06—0,12 м³ на 1 м³/ч фильтруемой воды.

Для тех же целей применяют порошкообразный активированный уголь, который вводят в воду в количестве от 1 до 5 мг/л или непосредственно перед фильтрами, или частично в смеситель и частично перед фильтрами. Опыты показали, что введение всего угля перед фильтрами значительно сокращает его расход. При периодическом появлении в природной воде запахов и привкусов применение угольного порошка имеет экономические преимущества по сравнению с фильтрованием воды на угольных фильтрах.

Наконец, уничтожению привкусов и запахов природной воды может способствовать введение в нее перманганата калия (0,1—2 мг/л).

Запахи и привкусы в воде могут быть вызваны наличием в ней не только микроорганизмов или органических веществ, но и некоторых неорганических веществ, например сероводорода и железа. Уничтожение этих запахов и привкусов производят одновременно с очисткой воды от этих веществ при ее обезжелезивании и удалении сероводорода (см. § 131 и 132).

Глава 22

КОМПОНОВКА СТАНЦИЙ ОСВЕЩЕНИЯ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ И ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА

§ 118. ВЫБОР ПЛОЩАДКИ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ КОМПОНОВКА

Ознакомление с задачами и характером работы современных станций очистки воды показывает, что они представляют собой сложный комплекс различных взаимосвязанных инженерных сооружений. Выбор строительной площадки для подобного комплекса, а также размещение на ней отдельных сооружений должны осуществляться в соответствии с их специфическими особенностями и обеспечивать их успешную эксплуатацию и экономичность. Размеры выбранной площадки должны предусматривать не только удобное размещение всех основных и вспомогательных сооружений, помещений и коммуникаций, но и возможность их расширения при дальнейшем развитии станции. Рельеф местности должен обеспечивать самотечное движение воды по цепи очистных сооружений при условии их наименьшего заглубления и наименьшего объема земляных работ, а также легкий отвод и сброс промывных вод. Грунты должны соответствовать всем строительным требованиям, не обладать коррозионностью; для всех заглубленных сооружений и сооружений, из которых возможно просачивание воды, нежелательны лёссовые грунты; нежелательно также высокое стояние грунтовых вод.

При выборе места расположения площадки очистных сооружений необходимо учитывать возможность осуществления наиболее эконо-

мичного решения подачи воды от источника к станции и от станции к местам потребления, а также наиболее рационального решения энергоснабжения станции, отвода промывных вод и т. п. Часто очистные сооружения располагаются в непосредственной близости от водоприемных сооружений и насосных станций первого подъема; в этих случаях все эти сооружения входят в общий комплекс сооружений станции очистки воды.

Площадка станции, располагаемая вблизи источника, должна быть гарантирована от затопления ее водой в паводки.

При выборе площадки следует предусматривать возможность организации зоны санитарной охраны.

На генеральном плане станции очистки воды должно быть дано расположение основных сооружений (включая резервуары чистой воды) и ряда вспомогательных сооружений: складов реагентов, фильтрующих и других материалов, хранилищ растворов реагентов, сооружений для регенерации и оборота промывных вод, подсушки осадка, пескового хозяйства, электрических подстанций, отопительных котельных и т. п. На генеральном плане должны быть нанесены все основные пути и коммуникации (дороги, линии труб, каналы, линии электропередачи). На плане должны быть отражены мероприятия по благоустройству и озеленению площадки сооружений.

Основные очистные сооружения в зависимости от полной производительности очистной станции могут располагаться отдельными блоками или объединяться. Кроме того, типы конструкций этих сооружений зависят от климатических условий. Отстойники и осветлители со взвешенным осадком группируются в один или (на крупных станциях) в два и более блоков. Горизонтальные отстойники строятся заглубленными или полузаглубленными в землю. В районах с теплым климатом их устраивают открытыми. В центральных и северных районах СССР отстойники и осветлители со взвешенным осадком устраивают с перекрытием и утепляют. Камеры хлопьеобразования в зависимости от их типа могут быть конструктивно объединены с отстойниками или устроены в отдельных блоках — со смесителями и сооружениями реагентного хозяйства. Фильтры и контактные осветлители в нашей практике, как правило, устанавливают в специальных крытых помещениях. В станциях малой производительности часто в зале фильтров устанавливают осветлители со взвешенным осадком, иногда — вертикальные отстойники.

В подавляющем большинстве случаев все сооружения очистной станции выполняются из железобетона.

Некоторые примеры планировки станций разной производительности приведены далее в § 121.

§ 119. ВЫСОТНАЯ СХЕМА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Как было указано в § 81, при проектировании комплекса очистных сооружений необходимо не только наметить их размещение на плане отведенной под строительство площадки, но и составить предварительную «высотную схему станции», т. е. установить предполагаемые отметки расчетных уровней воды во всех сооружениях. Для этого до получения в результате гидравлических расчетов значений потерь напора в самих сооружениях, арматуре и коммуникациях используются осредненные значения этих потерь, полученные из опыта проектирования и эксплуатации. Для составления предварительных высотных схем могут быть приняты следующие значения потерь напора (в м):

В сооружениях

в смесителе	0,4—0,5
» камере хлопьеобразования	0,4—0,6
» отстойниках	0,2—0,3
» осветлителях со взвешенным осадком	0,7—0,8
» фильтрах (к концу цикла)	2,5—3
» контактных осветлителях	2,2

В коммуникациях

от смесителя к отстойникам	0,3
» смесителя к осветлителям	0,5
» отстойников или осветлителей к фильтрам	0,2—0,3
» фильтров к резервуару чистой воды	1

Кроме того, около 0,5 м напора может теряться в измерительной аппаратуре при вводе воды на станцию и при отводе ее.

На рис. V.57 показана упрощенная высотная схема цепи основных очистных сооружений, составленная исходя из максимальных приведенных значений потерь напора. Здесь за нуль условно принята наивысшая отметка в резервуаре чистой воды.

Отметка уровня воды в смесителе является наивысшей и по ней определяется требуемая величина подъема воды насосами станции первого подъема. Сооружения реагентного хозяйства требуют для приготовления растворов реагентов подачи воды на более высокие отметки (чем отметка смесителя), но необходимые для этого количества воды весьма ма-

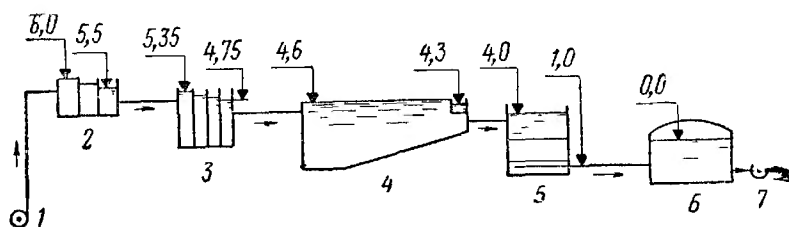


Рис. V.57

1 — насос станции первого подъема; 2 — смеситель; 3 — камера хлопьеобразования; 4 — отстойник; 5 — фильтр; 6 — резервуар чистой воды; 7 — насос станции второго подъема

лы по сравнению с расходом очищаемой воды. Поэтому воду для нужд реагентного хозяйства целесообразно подкачивать на необходимую дополнительную высоту.

После проведения гидравлических расчетов сооружений высотная схема и отметки уровней воды во всех сооружениях уточняются.

§ 120. ПОДСОБНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОМЕЩЕНИЯ ОЧИСТНОЙ СТАНЦИИ

К вспомогательным сооружениям очистной станции относятся: склады реагентов — коагулянтов, флокулянтов, извести, хлора; склады фильтрующих материалов; сооружения по удалению промывной воды, регенерации осадка, обороту промывной воды и ее сбросу; сооружения по удалению, сушке и эвакуации осадка из отстойников.

Склады реагентов исходя из условий удобства подачи реагентов в реагентное хозяйство обычно примыкают непосредственно к зданию реагентного хозяйства.

Склады жидкого хлора устраиваются в отдельных помещениях (см. главу 21).

В основном здании очистной станции должны быть предусмотрены

помещения для химических, бактериологических и гидробиологических лабораторий по контролю качества воды с подсобными помещениями, помещениями для работы персонала станции (диспетчерские, кладовые, гардеробы, душевые, мастерские, вентиляционные камеры и т. п.).

Ниже приведены примеры типовых решений генерального плана в типовых проектах очистных станций разной производительности, а также примеры зданий основных сооружений этих станций.

§ 121. ПРИМЕРЫ КОМПОНОВКИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Специализированными проектными организациями, работающими в области водоснабжения, разрабатываются и периодически обновляются типовые проекты станций очистки воды.

Ниже приводятся некоторые типовые схемы и решения станций осветления и обеззараживания воды.

На рис. V.58—V.60 приведен проект станции осветления и обеззараживания воды производительностью 12 500 м³/сутки, разработанный ЦНИИЭП инженерного оборудования¹ (рис. V.58—генеральный план; рис. V.59 и V.60—планы соответственно 1-го и 2-го этажей с разрезами). Проектом предусмотрены устройства для предварительного хлорирования, коагулирования сернокислым алюминием и подщелачивания воды,

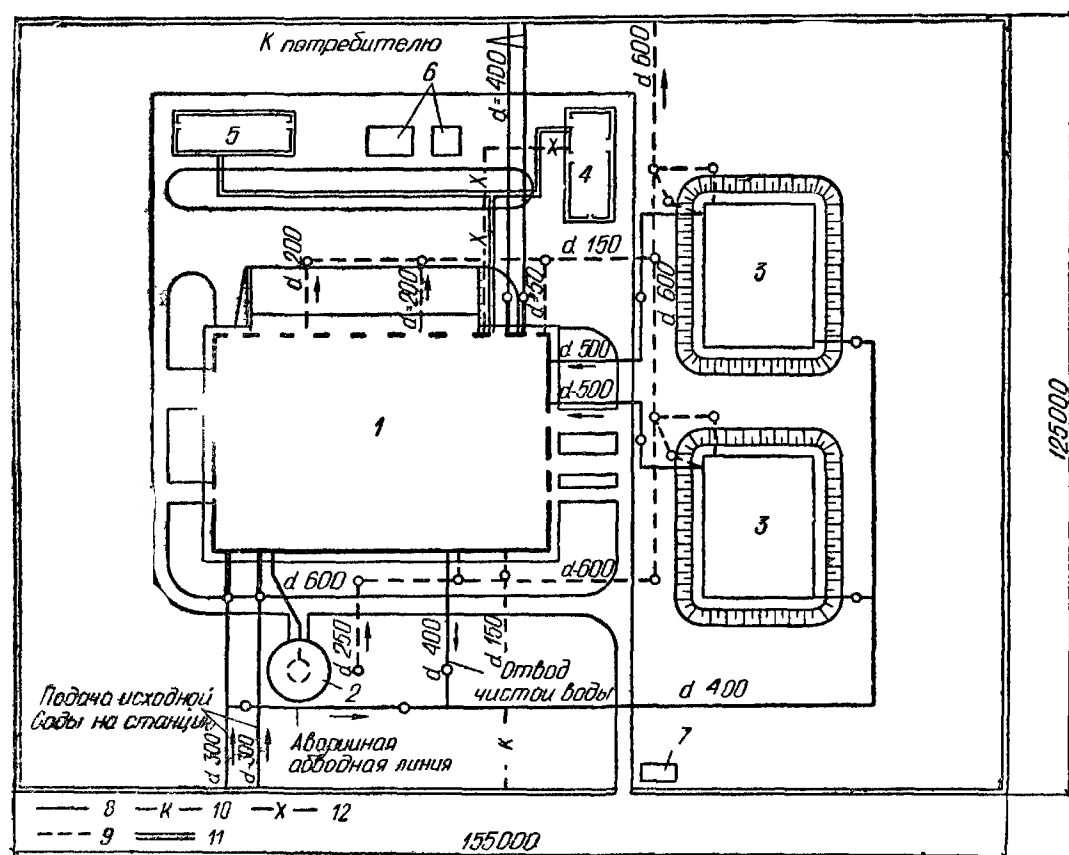


Рис. V.58

1 — здание водоочистой станции; 2 — башня для промывной воды с баком емкостью 300 м³; 3 — резервуары чистой воды; 4 — хлораторная и расходный склад хлора; 5 — котельная; 6 — площадки для угля и золы; 7 — проходная; 8 — линии исходной и очищенной воды; 9 — канализационные линии; 10 — линии бытсвой канализации; 11 — линии теплотрассы; 12 — линии хлоргаза

¹ Приводится в обработке, выполненной в книге В. А. Клячко, И. Э. Апелцин. Очистка природных вод М., Стройиздат, 1971.

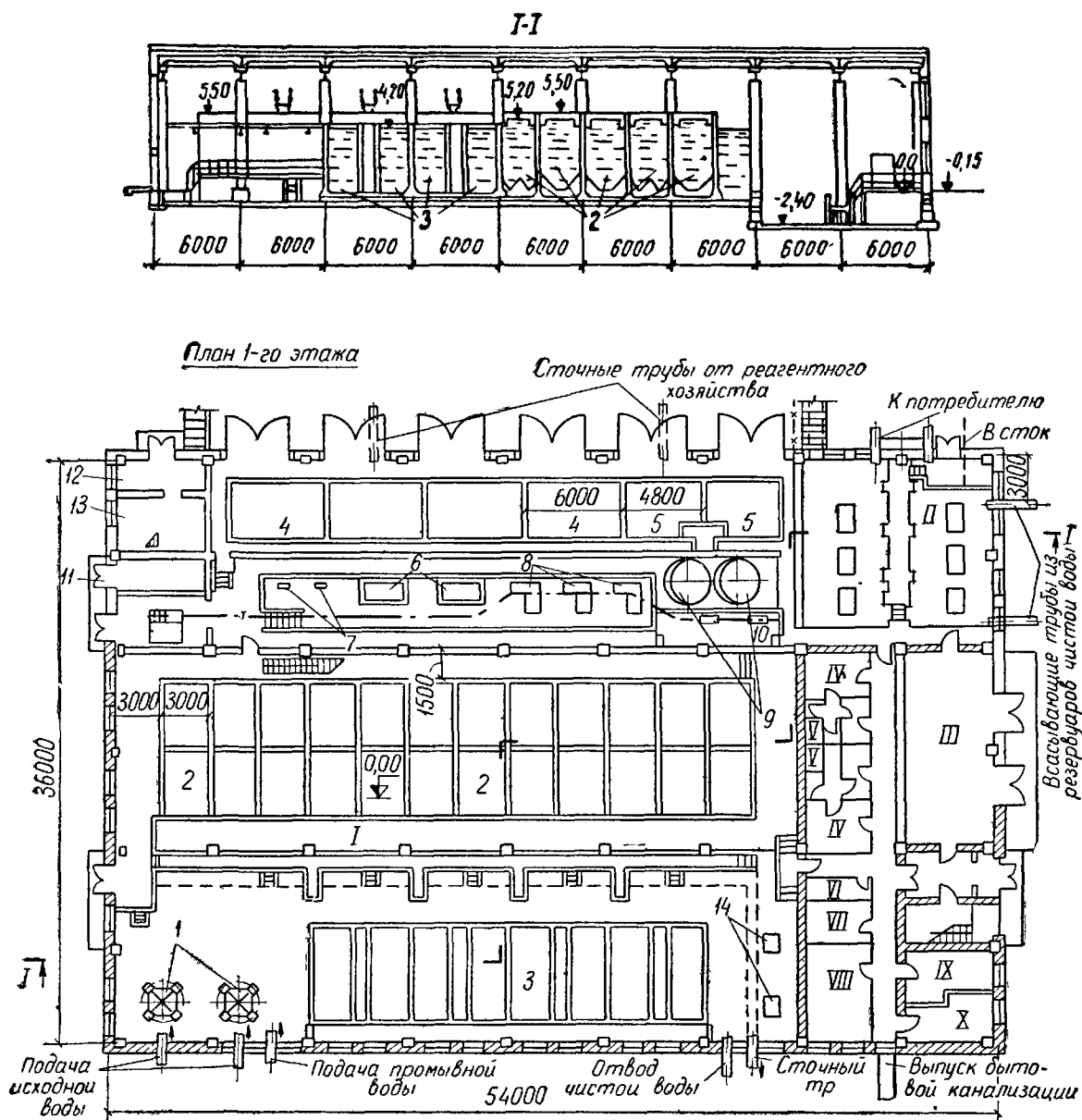


Рис. V.59

I — рабочий зал; *II* — насосная станция второго подъема; *III* — трансформаторная подстанция и щитовые устройства; *IV* — гардероб; *V* — душевые; *VI* — кладовая; *VII* — средоварочная и мойка; *VIII* — химическая лаборатория; *IX* — бактериологическая лаборатория; *X* — контрольная лаборатория; *1* — вихревые смесители; *2* — осветлители; *3* — фильтры; *4* — баки для хранения коагулянта; *5* — баки для известкового теста; *6* — расходные баки для коагулянта; *7* — насосы-дозаторы коагулянта; *8* — воздуходувки; *9* — мешалки известкового молока; *10* — циркуляционные насосы известкового молока; *11* — склад кремнефтористого натрия; *12* — склад активированного угля; *13* — углевальная; *14* — насосы для подкачки в башню промывной воды

а также обработка воды полиакриламидом. Предусмотрена также возможность фторирования воды кремнефтористым натрием, вторичного хлорирования и устранения запахов и привкусов путем использования активированного угля.

В состав основных сооружений входят: осветлители со взвешенным осадком и фильтры. Используются смесители вихревого типа.

На рис. V.61—V.63 приведен проект очистной станции производительностью 32—40 тыс. м³/сутки, оборудованной горизонтальными отстойниками и двухслойными фильтрами.

На генеральном плане (рис. V.61) нанесены основные блоки сооружений и следующие линии труб: подающие исходную воду к помещению реагентного хозяйства *a*; подающие воду с введенными в нее реагентами на горизонтальные отстойники *б*; подающие воду из отстойников на фильтры *в*; отводящие фильтрованную воду в сборные

резервуары чистой воды *г*; всасывающие водоводы *д* насосной станции второго подъема и напорные водоводы *е*, подающие очищенную воду потребителю. На станции предусмотрен оборот промывных вод (резервуары и трубопроводы *ж*).

Особенностью компоновки этой станции является расположение насосов второго подъема вместе с фильтрами и реагентным хозяйством в одном блоке *1*.

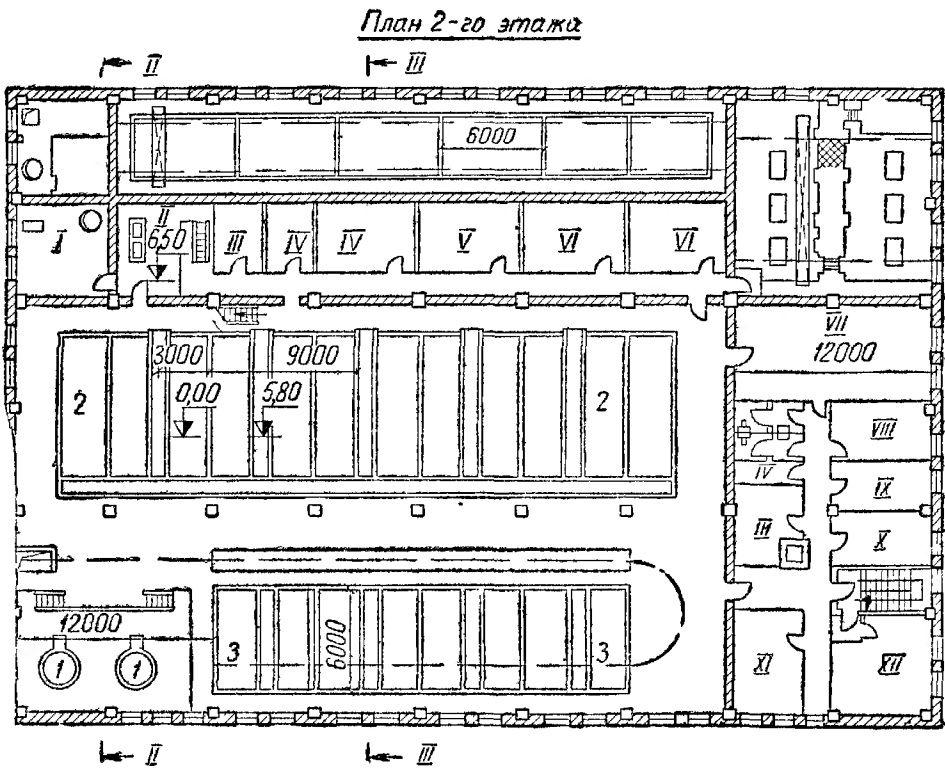
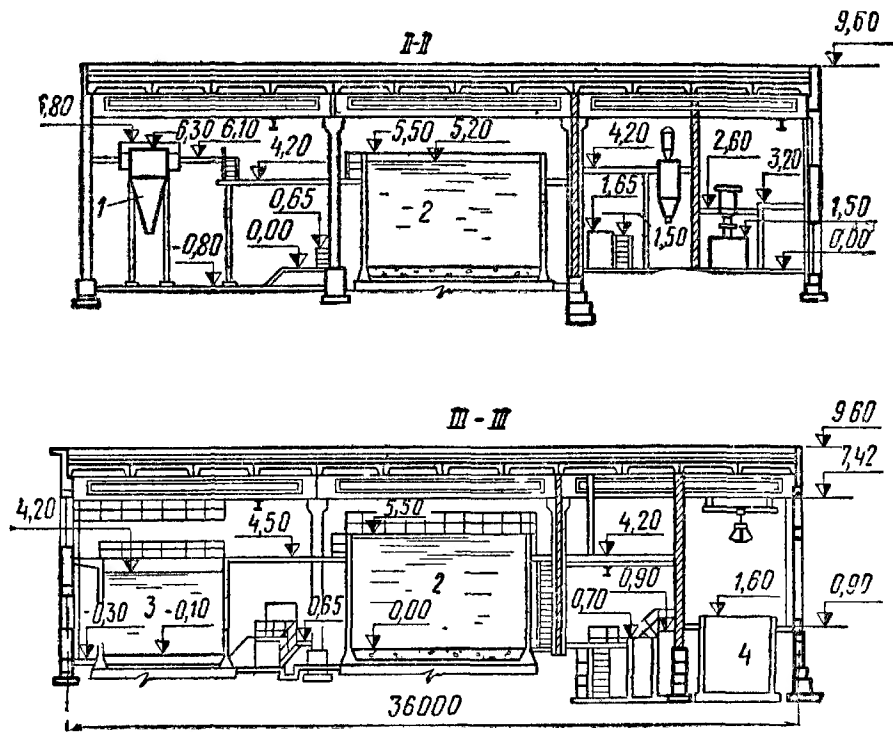


Рис. V 60

I — фтораторная; *II* — дозаторная, *III* — вентилиационные камеры; *IV* — кладовые, *V* — комната общественных организаций, *VI* — мастерские; *VII* — диспетчерская; *VIII* — комната обслуживающего персонала; *IX* — кабинет начальника станции; *X* — кабинет заведующего лабораторией, *XI* — гидробиологическая лаборатория; *XII* — хлордозаторная; *I* — вихревые смесители; *2* — осветлители; *3* — фильтры, *4* — баки для хранения коагулянта

Рис. V 61

1 — блок фильтровальной станции и реагентного хозяйства; 2 — резервуары чистой воды; 3 — блок хлораторной и склада хлора; 4 — растворные баки и резервуары-хранилища коагулянта, 5 — площадка для песка; 6 — горизонтальные отстойники

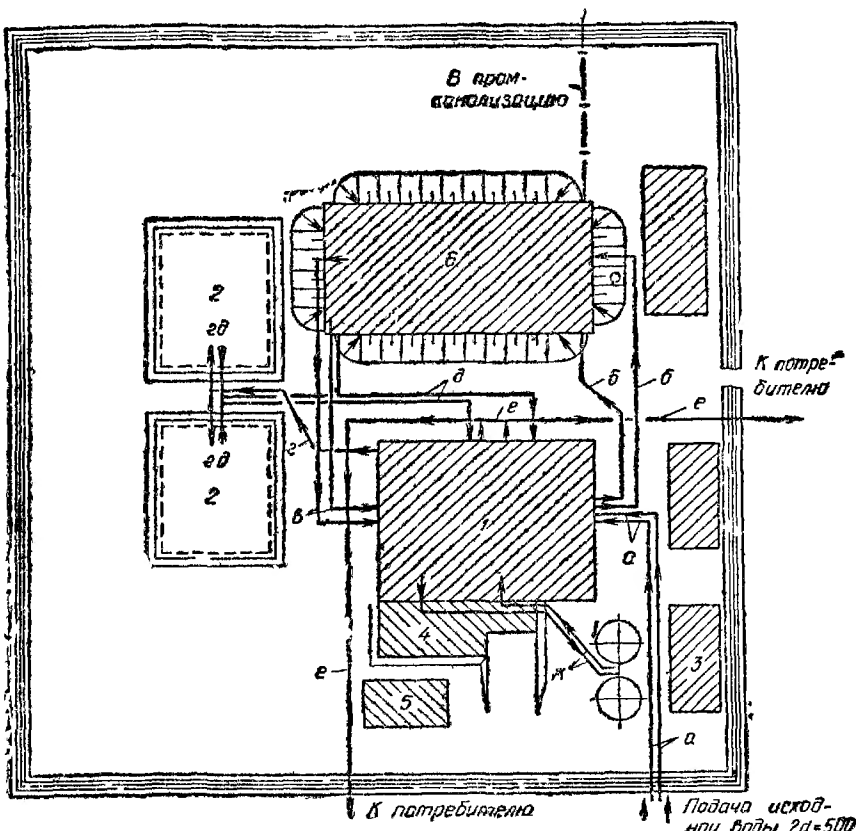
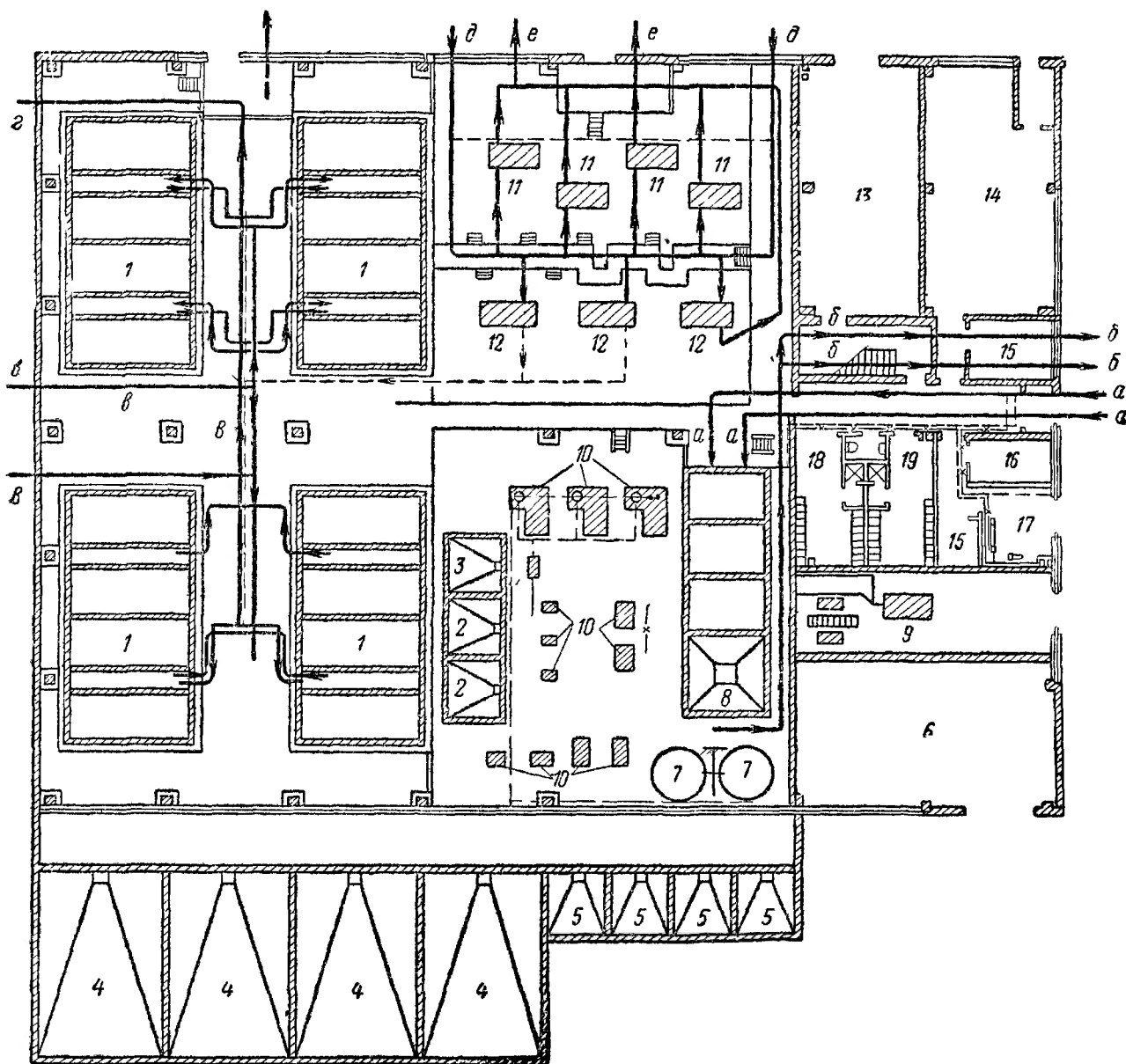


Рис V 62

1 — фильтры, 2 — расходные баки коагулянта; 3 — бак полиакриламида, 4 — резервуары хранения раствора, 5 — растворные баки коагулянта, 6 — склад извести и место приготовления известкового молока; 7 — мешалки известкового молока; 8 — смеситель 9 — мешалка угольной пульпы, 10 — насосно-компрессорное оборудование реагентного хозяйства, 11 — насосы станции второго подъема; 12 — промывные насосы, 13 — шитовая, 14 — котельная; 15 — вентиляционные камеры, 16 — мастерская; 17 — хлораторная, 18 и 19 — гардеробы



На рис. V.62 показан план блока фильтровальной станции (совмещенной с насосной станцией второго подъема) и реагентного хозяйства. На рисунке показаны только основные линии труб, обозначенные теми же буквами, что и на рис. V.61. Кроме того, показана напорная линия промывной воды. Лаборатории и помещения обслуживающего персонала размещены на втором этаже в правой части здания (на рисунке не показаны).

На рис. V.63 показан план расположения отстойников и камер хлопьеобразования (блок 6 на рис. V.61). Линии труб обозначены теми же буквами, что и на рис. V. 61.

На рис. V.64 показан генеральный план крупной очистной станции производительностью 100 тыс. м³/сутки (проект Гипрокоммунводоканала). Здесь 1 — блок горизонтальных отстойников и фильтров с примыкающим к нему блоком служебных помещений 2. Реагентное хозяйство расположено в отдельном здании 3. На плане показаны места расположения пескового хозяйства 4, расходный склад хлора 5, сооружения для обработки промывной воды (для ее повторного использования) 6. На той же площадке располагаются резервуары чистой воды 7 и насосная станция второго подъема 8.

В последних проектах станций осветления и обеззараживания

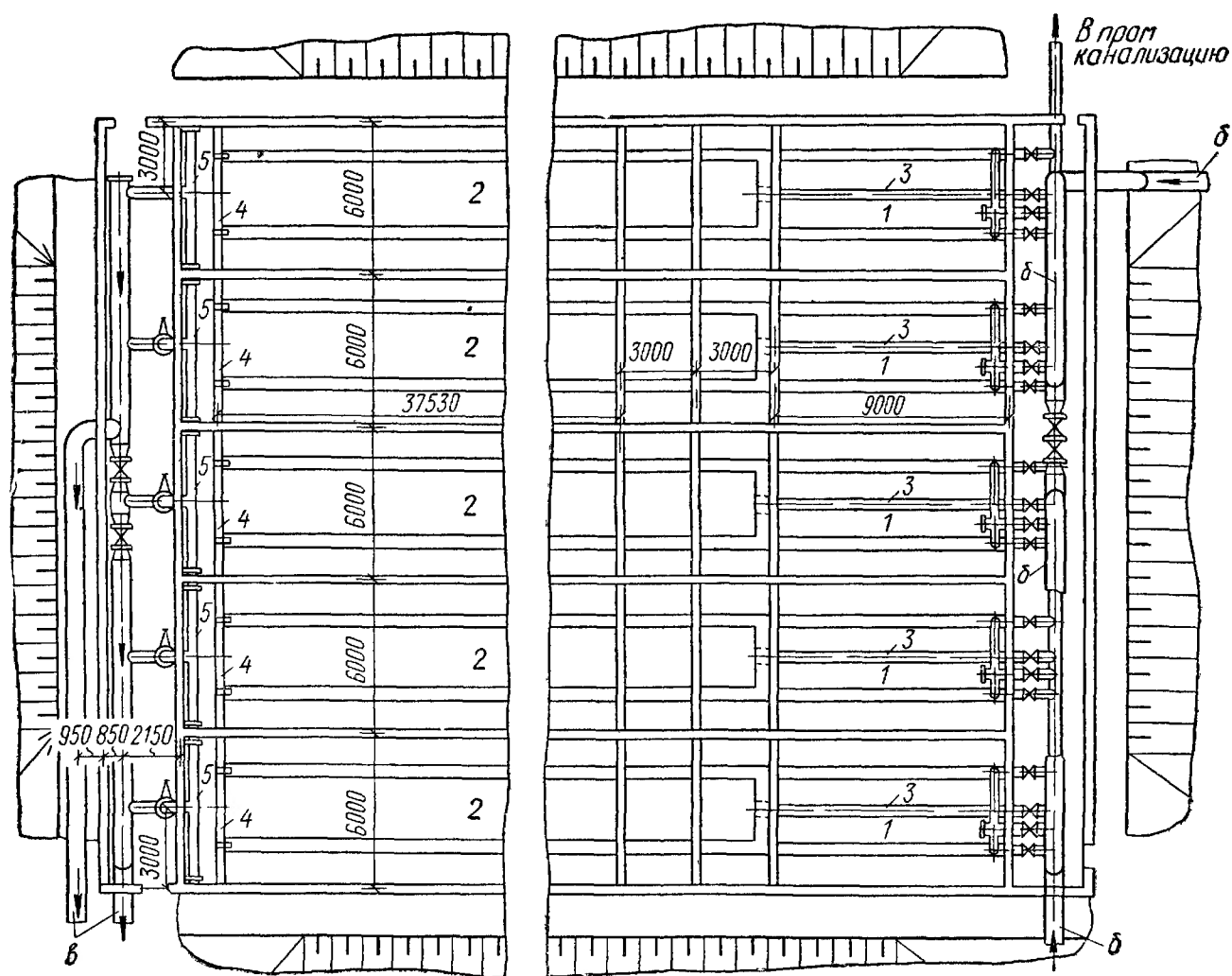


Рис V 63

1 — камеры хлопьеобразования; 2 — отстойники; 3 — сбросные трубы; 4 — дырчатая перегородка; 5 — сборные дырчатые трубы

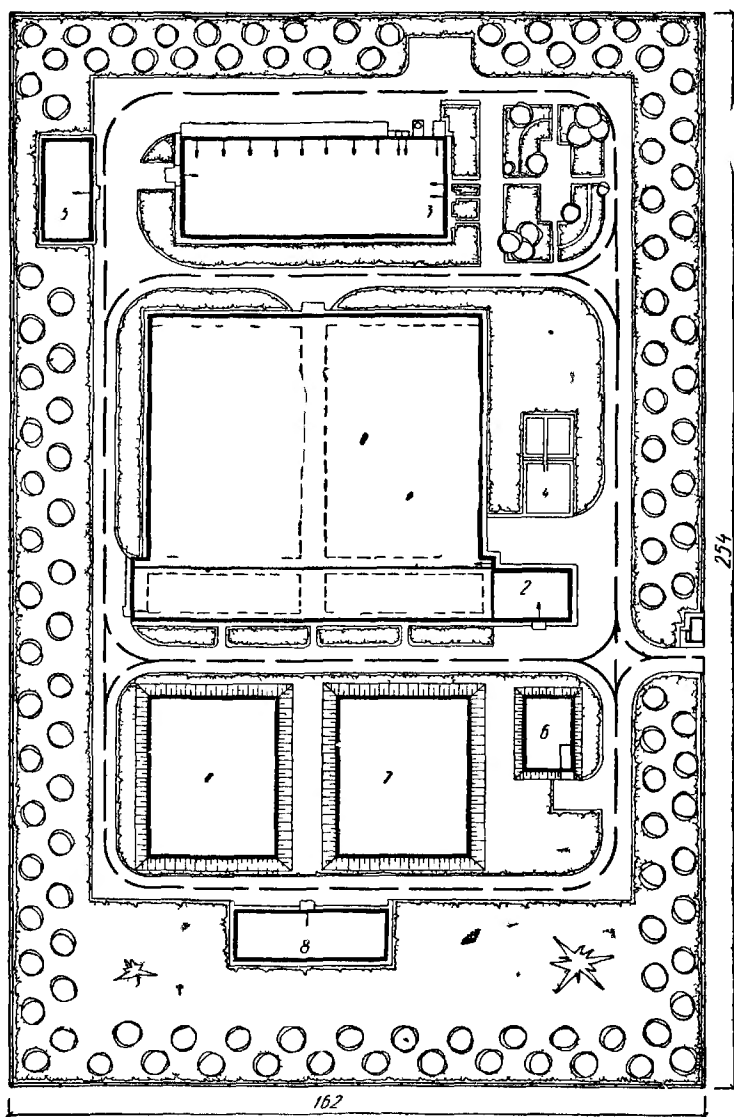


Рис. V 64

воды для устройства сооружений широко применяется сборный железобетон, при проектировании зданий станций используется стандартная сетка пролетов, принятая в промышленном строительстве.

Глава 23

УМЯГЧЕНИЕ, ОБЕССОЛИВАНИЕ И ОПРЕСНЕНИЕ ВОДЫ

Умягчение воды — процесс понижения ее жесткости, обусловленной наличием солей кальция и магния.

Существует несколько методов снижения жесткости воды, выбор которых производится исходя из требований к качеству умягчаемой воды (глубины умягчения) и технико-экономических обоснований.

В практике водоподготовки наибольшее распространение получили следующие методы умягчения воды:

а) реагентный, сущность которого заключается в связывании ионов кальция и магния химическими веществами в малорастворимые и легко удаляемые соединения — карбонат кальция и гидроксид магния (часто реагентный метод умягчения воды называют методом осаждения); в зависимости от применяемого реагента различают известковый, содовый, едконатриевый и фосфатный способы реагентного умягчения воды;

б) катионитный, основанный на способности ионообменных мате-

риалов (в данном случае катионитов) обменивать присутствующие в воде катионы кальция и магния на обменные катионы натрия или водорода (не придающие воде свойства жесткости), которыми предварительно заряжается катионит; обмен ионов натрия называется Na-катионированием, а ионов водорода — H-катионированием;

в) термохимический, при котором реагентное умягчение осуществляют обычно с применением извести и соды или реже едкого натра и соды при температуре воды более 100°С (до 165°С). Термохимический метод умягчения применяется в основном при подготовке воды для питания котлов. Только в этом случае утилизируется почти все тепло, затраченное на подогрев воды.

Глубина умягчения известкованием определяется растворимостью карбоната кальция и гидроокиси магния; при совместном присутствии в воде кальция и магния теоретически глубина умягчения при температуре 0°С составляет 0,55 мг-экв/л, а при температуре 80°С — 0,23 мг-экв/л. Практически вода, умягченная известковым или известково-содовым способом, имеет остаточную жесткость не менее 0,5—1 мг-экв/л из-за способности карбоната кальция и гидрата окиси магния образовывать пересыщенные растворы.

§ 122. ОСНОВЫ РЕАГЕНТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

Способы реагентного умягчения воды перечислены в табл. V.11.

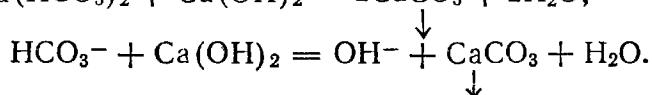
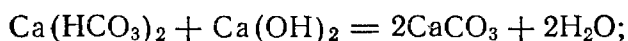
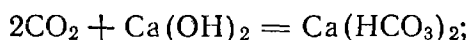
Таблица V.11

Способ реагентного умягчения	Применяемый реагент
Известковый	CaO или Ca(OH) ₂
Едконатриевый	NaOH
Известково-содовый	CaO+Na ₂ CO ₃
Содо-едконатриевый	Na ₂ CO ₃ +NaOH
Известково-едконатриевый	CaO+NaOH
Фосфатный ¹	Na ₃ PO ₄
Бариевый ²	BaCO ₃ или Ba(OH) ₂

¹ Применяется обычно после известково содового умягчения

² Применение ограничивается дефицитностью и высокой стоимостью бариевых солей

Известковый способ (декарбонизацию воды) применяют, когда необходимо снизить щелочность исходной воды. При этом происходит эквивалентное снижение жесткости. При введении в воду гидрата окиси кальция сначала происходит связывание растворенной в воде углекислоты с образованием бикарбонатных ионов. Затем бикарбонатные ионы переходят в карбонатные, которые, реагируя с присутствующими в растворе катионами кальция, выпадают в осадок (при превышении произведения растворимости PR_{CaCO_3}). Параллельно магний осаждается в виде гидроокиси магния. Процессы могут быть описаны следующими уравнениями:



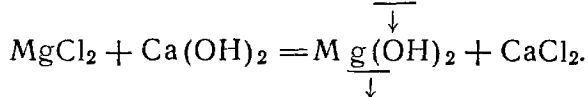
Обычно одновременно с известкованием воды проводят и ее коагулирование. В качестве коагулянта, как правило, используют закисное сернокислое железо — железный купорос $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

Хлорное железо FeCl_3 применяют в качестве коагулянта реже из-за трудностей обращения с ним. Сернокислый алюминий при известковании воды с большим значением рН образует хорошо растворимые в воде соединения — алюминаты.

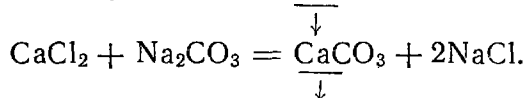
Расход извести для проведения процесса декарбонизации воды определяется приведенными выше уравнениями; кроме того, необходим дополнительный расход извести на реакцию с коагулянтом и некоторый ее избыток (0,5 мг-экв/л) для ускорения процесса декарбонизации.

Из способов реагентного умягчения воды наибольшее распространение получил известково-содовый благодаря более широким границам его применимости.

Дозирование в воду извести вызывает осаждение магния в виде $\text{Mg}(\text{OH})_2$, но жесткость воды при этом не уменьшается, так как происходит лишь замена магниевой жесткости кальциевой в соответствии с реакциями:



Жесткость некарбонатная, обусловленная в основном наличием соединений кальция, устраняется реагентом, содержащим анионы CO_3^{2-} , обычно кальцинированной содой Na_2CO_3 :



Доза извести (в пересчете на CaO) при известково-содовом способе умягчения воды может быть определена по формуле (в мг/л)

$$D_{\text{и}} = 28 \left(\frac{\text{CO}_2}{22} + J_{\text{к}} + J_{\text{м}} + D_{\text{к}} + I_{\text{и}} \right),$$

где 28 — эквивалентная масса CaO ;

CO_2 — содержание в воде свободной углекислоты в мг/л;

$J_{\text{к}}$ — жесткость карбонатная в мг-экв/л;

$J_{\text{м}}$ — жесткость магниевая в мг-экв/л;

$D_{\text{к}}$ — доза коагулянта в мг-экв/л;

$I_{\text{и}}$ — избыток извести, принимаемый равным 0,5 мг-экв/л.

Доза соды (в пересчете на 100% Na_2CO_3) составляет (в мг/л)

$$D_{\text{с}} = 53(J_{\text{н.к}} + D_{\text{к}} + I_{\text{с}}),$$

где 53 — эквивалентная масса соды;

$J_{\text{н.к}}$ — жесткость некарбонатная в мг-экв/л;

$I_{\text{с}}$ — избыток соды против теоретического количества, принимаемый равным 1 мг-экв/л.

В результате обработки воды известью или известью с содой происходит некоторое снижение солесодержания исходной воды.

Фосфатирование обычно применяется с целью более глубокого умягчения воды (до 0,04—0,05 мг-экв/л), предварительно обработанной другими способами, при температуре воды выше 100° С.

При введении в обрабатываемую воду тринатрийфосфата или динатрийфосфата протекают реакции образования труднорастворимых фосфорнокислых солей кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и магния $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$.

§ 123. УСТАНОВКИ ДЛЯ РЕАГЕНТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

Реагентные водоумягчительные установки обычно состоят из следующих основных элементов: 1) устройств для приготовления растворов, водораспределителей, дозаторов, реагентов; 2) смесителей; 3) камер

хлопьеобразования; 4) аппаратов, в которых завершается умягчение воды и происходит частичное ее осветление (вихревые реакторы, термоумягчители, напорные и безнапорные осветлители); 5) осветлительных фильтров.

Точное дозирование реагентов при обработке воды с целью ее умягчения имеет важное значение для успешного осуществления технологического процесса. Обычно критерием правильности подбора доз реагентов и завершения процесса умягчения служит показатель стабильности воды.

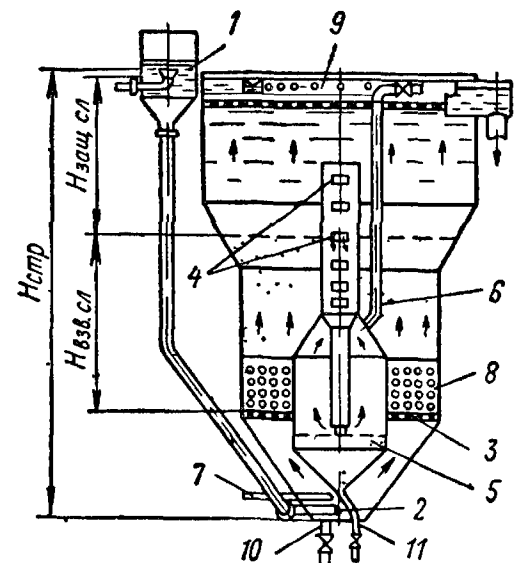


Рис. V.65

1 — воздухоотделитель; 2 — ввод воды в осветлитель (тангенциально расположенное сопло); 3 — нижняя распределительная решетка; 4 — окна для удаления избытка шлама; 5 — шламоуплотнитель; 6 — принудительный отсос; 7 — ввод реагентов; 8 — стабилизатор взвешенного слоя; 9 — сбросной желоб; 10 и 11 — выпуски осадка

Однако на крупных установках по экономическим соображениям от применения сатураторов отказываются и приготавливают не насыщенный раствор извести, а известковое молоко с концентрацией 5%. Для приготовления молока используют баки со специальными устройствами, предотвращающими расслоение известковой взвеси и раствора. Такими устройствами являются лопастные или гидравлические мешалки и система дырчатых труб для подачи сжатого воздуха. Для подачи известкового молока к смесителям необходимо выбирать кратчайшее расстояние.

Важным элементом дозирующих устройств на водоумягчительных установках является водораспределитель, на котором обрабатываемая вода делится водосливами с постоянной или регулируемой шириной порога на несколько потоков (в подогреватель, в сатуратор, в дозатор). Соотношение между расходами (потоками) сохраняется при изменении величины общего расхода воды. Отделенные таким образом в распределителе потоки используются для автоматического дозирования (управления дозаторами, например сатуратором). Водораспределители выбирают по каталогу водоподготовительного оборудования на заданную пропускную способность.

Осветлитель является основным аппаратом водоумягчительной реагентной установки. Расчет осветлителя производится так же, как и расчет осветлителя, применяемого для обычного осветления воды. В практике реагентного умягчения воды широкое распространение получили осветлители ЦНИИ МПС, разработанные проф. Е. Ф. Кургаевым.

На рис. V.65 показано устройство осветлителя ЦНИИ I-A производительностью 100 м³/ч. Вода в осветлитель вводится через тангенциально расположенное сопло 2, чем обеспечивается вращательное движение ее в нижнем конусе, необходимое для перемешивания реагентов, вводимых по трубе 7. Вращательное движение гасится нижней дренажной решеткой 3

и вертикальными перегородками, расположенными внизу центральной части осветлителя. Для улучшения гидравлических условий сбора осветленной воды имеется верхняя дренажная решетка. Отбор избытка осадка из взвешенного слоя производится через окна 4, расположенные на вертикальной трубе; подвижные кожухи на окнах позволяют изменять как высоту, так и площадь отбора. На установках большей производительности применяются осветлители ЦНИИ-3 (см. рис. V.28).

Взвешенный хлопьевидный осадок в основном состоит из соединений Са и Mg, естественной взвеси и продуктов коагуляции.

Осветлители со взвешенным осадком практически могут быть использованы для известкования, а также для известково-содовой обработки воды любого качества. Однако они хорошо работают только при поступлении в них воды с постоянной температурой. Резкое изменение температуры (на 1—2°) вызывает появление конвективных токов, взмучивание слоя взвешенного осадка и вынос его из осветлителя на фильтры.

Для окончательного осветления умягченной воды применяют обычные скорые фильтры. Расчет и описание конструкций этих фильтров приведены в главе 20.

124. ОСНОВЫ КАТИОНИТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

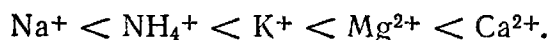
Умягчение воды по методу ионного обмена основано на свойстве катионитов обменивать катионы, которыми предварительно «заряжены» его активные группы, на содержащиеся в умягчаемой воде катионы кальция и магния. В результате реакции катионит отдает в воду взамен поглощенных обменные катионы. В зависимости от того, каким обменным ионом «заряжен» катионит: натрием, водородом или аммонием — различают процессы Na-, H- и NH_4 -катионирования.

Процесс обмена ионов между катионитами и раствором, содержащим соли жесткости, зависит от многих факторов. Главными из них являются свойства катионитов, состав исходной воды и условия происходящего процесса. Все эти факторы тесно связаны между собой и прежде всего определяют скорость прохождения ионообменных реакций. Реакция обмена между катионитом и ионами исходной воды, являющейся раствором солей, обуславливается диффузией ионов из раствора внутрь катионита и из катионита в исходную воду. Процесс управляется законами диффузии и действия масс.

При умягчении воды, содержащей ионы кальция и магния, Na-катионированием кальций и магний будут диффундировать в катионит; в свою очередь натрий из катионита диффундирует в воду. В результате обменной реакции кальций и магний займут место вытесненного натрия в катионите, а натрий займет место магния и кальция в умягченной воде. Обмен ионов между катионитом и растворами (водой) происходит эквивалентно: из катионита ионы Na^+ вытесняются в количестве, эквивалентном количеству ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , поглощаемых из раствора. Обмен ионов является не только эквивалентным, но и обратимым процессом. Обратимость обмена ионов заключается в том, что скорость обмена иона, вытесненного из катионита, и иона, поглощенного из раствора, при условии равновесия практически равна. Эквивалентность и обратимость обмена ионов нарушаются в том случае, если наряду с обменом ионов в воде протекают другие реакции, например окислительно-восстановительные, физическая сорбция молекул и др.

При ведении процесса Na-катионирования (как и других процессов) для практических целей главной задачей является максимальное использование ионообменной способности (емкости) катионита, ибо от нее и

степени ионизации активных групп катионита зависит эффективность применения ионообменного процесса. Большое влияние на обменную способность катионита оказывает природа поглощаемых катионов. Любой катион может поглощаться катионитом полностью, однако величина рабочей емкости поглощения при этом будет зависеть от того, какой именно катион поглощается. Интенсивность поглощения подчиняется определенной закономерности:



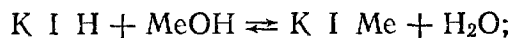
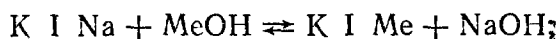
Здесь каждый последующий катион поглощается катионитом более интенсивно, чем предыдущий.

В качестве катионитов в настоящее время применяются только искусственно получаемые материалы. Из числа практически используемых катионитов в первую очередь следует указать сульфоуголь—полифункциональный катионит, получающийся сульфированием (обработка концентрированной серной кислотой при высокой температуре) природных коксующихся плавок каменных углей. По внешнему виду сульфоуголь—черный зернистый материал, состоящий из гранул неправильной формы размером от 0,25 до 1,2 мм. Обменная способность сульфоугля составляет от 200 до 300 мг-экв/л в зависимости от условий применения. Сульфоуголь применяется для Na-, H- и NH₄-катионирования. Благодаря доступности и дешевизне сульфоуголь получил широкое распространение в теплоэнергетике для водоподготовки.

Кроме сульфоугля в настоящее время широко применяют синтетические ионообменные смолы—иониты, представляющие собой высокомолекулярные соединения, которые состоят из молекул-гигантов с огромной молекулярной массой. Ионит—твердое, практически нерастворимое в воде вещество, механически прочное и химически устойчивое.

Ионообменная способность синтетических ионитов, так же как и естественных, обуславливается активными группами, закрепленными на каркасе высокомолекулярных соединений, расположенных в объеме частицы (зерна). Таким образом, всякий ионит—это нерастворимый отрицательный или положительный поливалентный ион, окруженный подвижными ионами противоположного знака. Из синтетических катионитов наиболее широкое распространение в водоочистке получили КБ-4-П2, КУ-1Г, КУ-2-8. Они обладают в несколько раз большей обменной способностью, чем сульфоуголь. Например, обменная способность КУ-2-8 при Na-катионировании составляет 800—900 мг-экв/л.

Ионообменные процессы, осуществляемые на катионитах, основаны на типовых реакциях катионного обмена:



где К—сложный радикал катионита (органический скелет), практически нерастворимый в воде и играющий роль неподвижного аниона;

I—знак, указывающий на способность катионита диссоциировать на нерастворимый анион и катионы Na⁺, H⁺ или NH₄⁺;

Na, H и M₁—подвижные обменные катионы катионита;

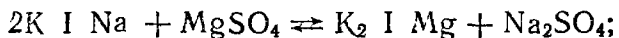
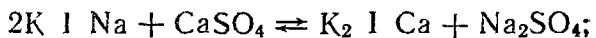
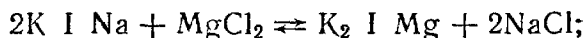
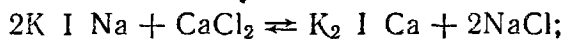
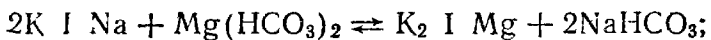
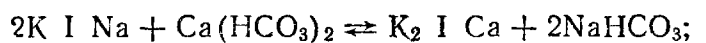
Me и M₂—катионы, подлежащие извлечению из воды в обмен на Na, H и M₁;

An—анионы солей в воде.

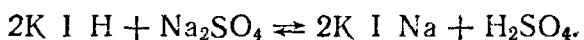
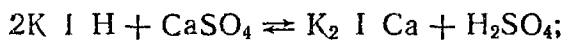
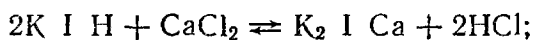
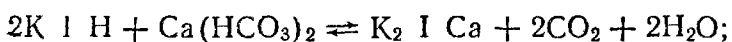
Подобные процессы обмена осуществляются на практике в динамических условиях фильтрованием умягчаемой воды через слой набухшего катионита, загруженного в специальных фильтрах.

Процессы умягчения могут быть представлены следующими схематическими реакциями в молекулярной форме:

Na-катионирование:



H — катионирование:



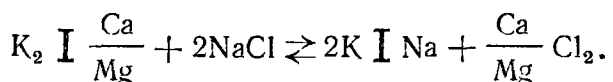
Такой же характер будут иметь реакции H-катионирования в отношении магниевых солей.

В процессе умягчения воды Na-катионированием содержание кальция и магния в воде может быть снижено до весьма малых величин: при одноступенчатом — до 0,03 — 0,05 мг-экв/л и при двухступенчатом — до 0,01 мг-экв/л.

Особенность Na-катионирования заключается в том, что карбонатная жесткость умягчаемой воды, обусловленная бикарбонатами кальция и магния, переходит в бикарбонатную щелочность $NaHCO_3$, т. е. концентрация бикарбонатных ионов не изменяется. Солеосодержание фильтрата несколько возрастает в результате замещения в растворе одного иона кальция на два иона натрия с большой атомной массой.

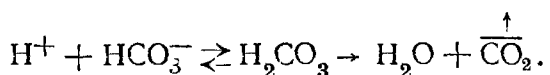
По мере фильтрования жесткой воды через слой катионита он постепенно теряет способность умягчать воду. Вся обменная способность катионита будет исчерпана тогда, когда все его активные группы израсходуют ионы натрия и будут замещены ионами кальция и магния.

Регенерация Na-катионита достигается пропусканием через него раствора с большим содержанием натрия, например 10%-ного раствора поваренной соли:



Получающиеся в процессе фильтрования через катионит раствора $NaCl$ хлористые соли кальция и магния сбрасываются в дренаж с последующей отмывкой катионита от продуктов регенерации.

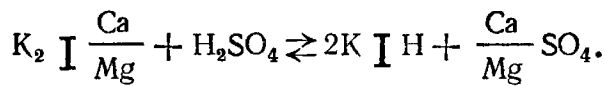
В процессе H-катионирования наряду с умягчением исходной воды устраняется ее природная щелочность вследствие вторичных процессов:



Однако, как видно из приведенных выше реакций, получаемая в этом процессе вода имеет низкое значение pH, так как все некарбонатные соли различных присутствующих в воде катионов превращаются при

Н-катионировании в соответствующие кислоты (в основном HCl и H₂SO₄). Кислотность воды в этом процессе зависит от глубины ее Н-катионирования, т. е. от полноты обмена катионов металлов на катион водорода.

Регенерация Н-катионита достигается пропуском через него раствора серной или соляной кислоты:



Задержанные катионитом ионы кальция и магния при регенерации его кислотой замещаются водородными ионами кислоты.

При регенерации Н-катионита возникают вторичные процессы взаимодействия между продуктами реакции, в частности кальцием, вытесненным из катионита, и сульфатными анионами, которые могут дать в слое катионита осадок гипса, что приведет к потере эффекта регенерации. Чтобы этого не произошло, применяют, например, прогрессивно-последовательную регенерацию катионита 1-, 1,5- и 5%-ным раствором серной кислоты.

Наибольшее практическое применение нашло сочетание процессов Na- и Н-катионирования. В этом случае может быть достигнута требуемая потребителем величина щелочности или кислотности благодаря взаимной нейтрализации кислой и щелочной воды. Процесс Н—Na-катионирования может осуществляться по одной из описанных далее схем.

1. Параллельное Н—Na-катионирование применяют для исходной воды с малой некарбонатной жесткостью. При этом часть воды пропускается через Н-катионитный фильтр, а другая часть — через Na-катионитный фильтр. Затем оба фильтрата смешиваются. В результате можно получить воду с весьма малой жесткостью и близкой к нулевой щелочностью. Выделяющаяся при взаимодействии Na-катионированной воды с Н-катионированной водой углекислота удаляется на специальных дегазаторах.

2. Последовательное Н—Na-катионирование обычно применяют для умягчения воды с относительно высокой жесткостью. При этом часть обрабатываемой воды пропускается через Н-катионитный фильтр, затем смешивается с остальной частью воды, пропускается через удалитель углекислоты (дегазатор) и, наконец, вся смесь пропускается через Na-катионитный фильтр.

3. Совместное Н—Na-катионирование осуществляется в одном фильтре. При этом верхний слой катионита в фильтре отрегенирован для работы по методу Н-катионирования, а нижний — для работы по методу Na-катионирования.

Для доумягчения фильтрата после Н—Na-катионирования применя-

Таблица V 12

Катиониты	Размер зерен в мм	Объемная масса в на- бухшем состоянии в т/м ³	Полная об- менная спо- собность $E_{полн}$ в г-экв/м ³	Примечание
Сульфоуголь				
сорт 1, крупный .	0,4—1,8	0,42	570	Сильнокислотный
КУ-1Г	0,3—2	0,47	650	»
КУ-2-8	0,3—1,2	0,65	1700	»
КБ-4-П2	0,3—1	0,40	2800	Слабокислотный

ют дополнительный Na-катионитный фильтр (так называемый Na-катионитный фильтр второй ступени).

Осуществление метода H-катионирования на практике связано с некоторыми сложностями и с соблюдением особых требований техники безопасности, которые неизбежны при обращении с кислотами и их растворами, — необходимы кислотостойкая изоляция аппаратов, трубопроводов и арматуры или изготовление их из специальных кислотостойких материалов (нержавеющая сталь, биметалл, пластмассы).

Катионитовые методы позволяют достигнуть весьма глубокого умягчения воды — до 0,01 мг-экв/л и снижения щелочности до 0,35 мг-экв/л.

Технологические характеристики некоторых марок катионитов приведены в табл. V. 12.

§ 125. УСТАНОВКИ ДЛЯ КАТИОНИТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

Схемы Na-катионирования. В технологических схемах установок предусматривается Na-катионирование воды с предварительной обработкой либо без нее в зависимости от качества исходной воды. Предвари-

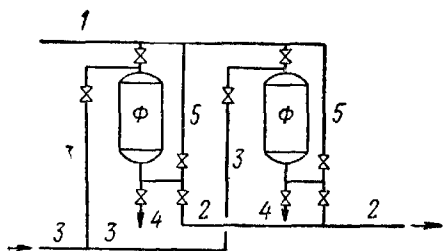


Рис. V.66

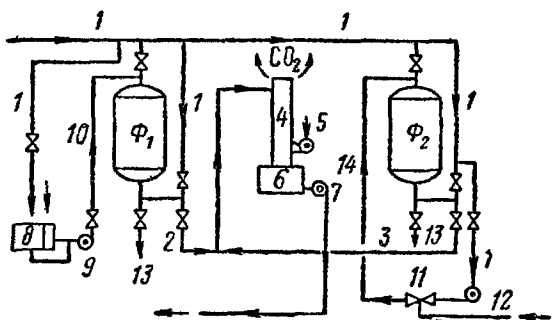


Рис. V.67

тельная обработка воды включает в себя коагулирование, известкование с осветлением в осветлителях и последующее фильтрование на кварцевых скорых фильтрах.

На рис. V. 66 представлена наиболее простая технологическая схема установки для умягчения воды методом Na-катионирования без предварительной обработки воды. В напорные фильтры Φ загружен набухший катионообменный материал, например сульфоголь. Подлежащая обработке вода подается по трубе 1 на фильтры и проходит сверху вниз через слой сульфогля со скоростью 10—25 м/ч в зависимости от исходной жесткости (15—5 мг-экв/л). Умягченная вода отводится по трубам 2 к потребителю.

На время регенерации катионита фильтры поочередно выключают из работы. Регенерационный раствор поваренной соли концентрацией 1,5—8% подается из солерастворителя на фильтр по трубе 3 и сбрасывается в дренаж по трубе 4. Скорость пропускания регенерационного раствора составляет 3—5 м/ч.

Процесс регенерации включает в себя следующие операции: 1) взрыхление катионита исходной водой, подаваемой по трубе 5 в фильтр снизу вверх с интенсивностью 3—4 л/(с·м²); 2) регенерация катионита; 3) отмывка катионита исходной водой (по трубам 1, 4) от продуктов регенерации и неизрасходованного регенерационного раствора со скоростью 10 м/ч.

Отмывка Na-катионитного фильтра заканчивается при снижении жесткости фильтрата до 0,1 мг-экв/л, после чего фильтр включается в рабочий цикл.

При производительности умягчительных установок более $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ принимается «мокрое» хранение соли. Соль сгружают в бункер мокрого хранения, туда же подают воду через бачок с поплавковым клапаном, автоматически поддерживающим постоянный уровень. Концентрированный раствор (26%) отводится из отсека, отделенного от бункера дырчатой деревянной перегородкой, в мерник. Благодаря фильтрованию через твердую соль раствор приобретает прозрачность.

Регенерационный раствор необходимой концентрации готовят в эжекторе.

Схемы Н—Na-катионирования. На рис. V.67 показана принципиальная схема параллельного Н—Na-катионирования. Фильтр Φ_1 загружен катионитом в Na-форме, а фильтр Φ_2 — катионитом в Н-форме. Исходная вода 1 подается по трубам параллельно на Na- и Н-катионитные фильтры. Смешивая в определенной пропорции щелочной 2 и кислый 3 фильтраты, можно получить практически полностью умягченную воду заданной щелочности. В дегазаторе 4 вода продувается воздухом от низконапорного вентилятора 5, освобождается от углекислоты, стекает в бак 6 и центробежным насосом 7 подается потребителю. Для регенерации истощенных Na-катионитных фильтров в баке 8 готовится 6—10%-ный раствор NaCl, подаваемый затем насосом 9 по трубе 10 в фильтр. Для регенерации истощенных Н-катионитных фильтров в эжекторе 11 из концентрированной серной кислоты, подаваемой по трубе 12, готовится 1—1,5%-ный регенерационный раствор серной кислоты. Отмывочные воды и первый фильтрат сбрасывают в дренаж по трубам 13. Регенерационный раствор серной кислоты подается в фильтр по трубе 14.

При совместном Н—Na-катионировании один и тот же фильтр служит для Н- и Na-катионирования. В этом случае регенерация истощенного фильтра осуществляется следующим образом. Вначале на истощенный катионит подается некоторое количество регенерационного раствора поваренной соли 6—10%-ной концентрации, а затем 1—1,5%-ный раствор серной кислоты с промежуточной отмывкой катионита между регенерациями. В результате верхние слои катионитовой загрузки будут обладать (преимущественно) обменными ионами водорода, а нижние — обменными ионами натрия.

§ 126. РАСЧЕТ УСТАНОВОК ДЛЯ КАТИОНИТНОГО УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

При расчете катионитной установки должны быть заданы: количество умягчаемой воды, ее солевой состав, требования потребителя к качеству воды и обменная способность намеченного для использования катионита.

Определению подлежат: площадь (а следовательно, и число) фильтров, объем катионитового материала и количество воды, идущей на собственные нужды установки.

Основной величиной, определяющей нагрузку катионитной установки за один цикл, является количество удаляемых солей жесткости (катионов) в г-экв:

$$E = \frac{QЖ_0}{n},$$

где Q — количество умягчаемой воды в $\text{м}^3/\text{сутки}$;
 $Ж_0$ — общая жесткость умягчаемой воды в г-экв/ м^3 ;
 n — предполагаемое число регенераций в сутки.

Если полезная (рабочая) обменная способность катионита будет $E_{\text{раб}}$ (в г-экв/м³), то требуемый объем катионита (в м³) получим равным:

$$W_{\text{к}} = \frac{E}{E_{\text{раб}}} = \frac{QJ_0}{nE_{\text{раб}}}.$$

Суммарная площадь фильтров F будет зависеть от принятой высоты слоя катионита H :

$$F = \frac{W_{\text{к}}}{H} = \frac{QJ_0}{nE_{\text{раб}} H}.$$

Если выразить величину n через полную продолжительность фильтроцикла T , то получим

$$n = \frac{24}{T} \text{ и } F = \frac{QJ_0 T}{24E_{\text{раб}} H}.$$

Из этого выражения видно, что площадь фильтров будет расти с увеличением продолжительности фильтроцикла, а также жесткости исходной воды и уменьшаться с увеличением обменной способности катионита и высоты слоя катионита в фильтре.

Скорость фильтрования воды v (в м/ч) через катионитные фильтры зависит от жесткости воды и обменной способности катионита

$$v = \frac{Q}{T_0 n F} = \frac{E_{\text{раб}} H}{J_0 T_0},$$

где T_0 — продолжительность полезной работы фильтра в течение одного цикла в ч.

Для возможности использования приведенных выше формул необходимо правильно задаваться величинами $E_{\text{раб}}$, H , J_0 (общая жесткость умягчаемой воды в мг-экв/л) и T_0 .

Величина рабочей обменной способности катионита $E_{\text{раб}}$ всегда будет ниже его полной обменной способности $E_{\text{полн}}$, так как некоторая доля ее тратится на неизбежное частичное умягчение воды, подаваемой на отмывку катионита после регенерации. Кроме того, величина $E_{\text{раб}}$ зависит от полноты использования объема катионита, высоты его слоя и размера зерен, состава и концентрации растворенных в воде солей.

При Na-катионировании величина рабочей обменной способности катионита может быть определена по формуле, предложенной В. А. Клячко:

$$E_{\text{раб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \beta_{\text{Na}} E_{\text{полн}} - 0,5 J_0 q_{\text{уд}},$$

где 0,5 — коэффициент, учитывающий неполноту умягчения отмывочной воды;

$q_{\text{уд}}$ — удельный расход отмывочной воды;

α_{Na} — коэффициент эффективности регенерации, учитывающий неполноту регенерации катионита; значение коэффициента α_{Na} может быть определено по табл. V.13 в зависимости от удельного расхода поваренной соли на регенерацию катионита P в г на 1 г-экв рабочей обменной способности;

Таблица V.13

P	100	150	200	250	300	400
α_{Na}	0,62	0,74	0,81	0,86	0,9	0,91

β_{Na} — коэффициент снижения полной обменной способности.

Коэффициент β_{Na} может быть определен в зависимости от отношения C_{Na}^2/J_0 [здесь C_{Na} — концентрация натрия в умягчаемой воде

Таблица V.14

C_{Na}^2/J_0	0,01	0,03	0,05	0,1	0,5	1	2	3	5	10
β_{Na}	0,93	0,9	0,88	0,83	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,5

в г-экв/м³, равная $C_{Na} = [Na^+]/23$, где $[Na^+]$ — концентрация натрия в исходной воде в г/м³; J_0 — общая жесткость умягчаемой воды]. Значения β_{Na} в зависимости от этого отношения даны в табл. V.14.

Величина полной обменной способности $E_{полн}$ является характерной для каждого типа катионита (см. табл. V.12).

Высота слоя катионита H должна быть достаточной для предотвращения проскока солей жесткости в фильтрат до окончания заданного рабочего цикла умягчения.

В настоящее время высота H в стандартных (параллельно-поточных) фильтрах первой ступени изменяется от 2 до 2,5 м, а в фильтрах второй ступени составляет 1,5 м. Натрий-катионитный фильтр первой ступени диаметром D от 2 до 3,4 м показан на рис. V.68.

Скорость фильтрования на катионитных фильтрах рекомендуется принимать не выше следующих величин:

Жесткость умягчаемой воды в мг-экв/л.	Скорость фильтрования в м/ч
до 5	25
» 10	15
» 15	10

При расчете Н—Na-катионитных установок в первую очередь необходимо установить, какое количество воды должно поступать на Na-катионитные фильтры (Q_{Na}) и какое — на Н-катионитные фильтры (Q_H). Эти величины при параллельном Н—Na-катионировании могут быть определены по формулам

$$Q_H = \frac{J_K - a}{J_K + A} Q; \quad Q_{Na} = Q - Q_H,$$

где J_K — карбонатная жесткость умягчаемой воды в мг-экв/л;

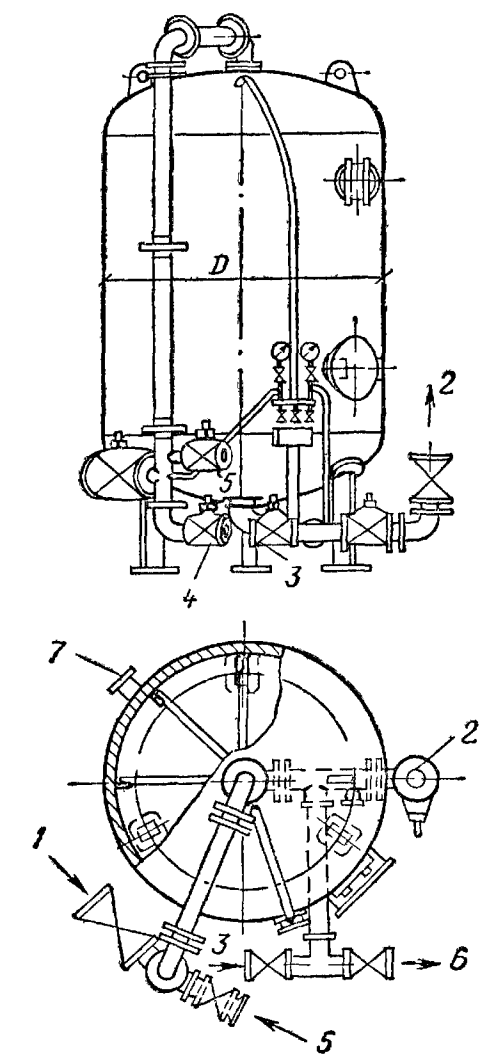
a — условная «остаточная» щелочность фильтрата в мг-экв/л, принимаемая в пределах 0,2—0,3 мг-экв/л;

A — суммарное содержание в воде анионов сильных кислот в мг-экв/л.

Объем Na-катионита и площадь Na-катионитных фильтров могут быть определены указанным выше методом.

Для определения объема Н-катионита и площади Н-катионитных фильтров необходимо найти значение рабочей обменной способности Н-катионита $E_{раб}^H$ в данных условиях.

Рис V 68



1 — подвод обрабатываемой воды; 2 — выпуск обработанной воды; 3 — подвод промывочной воды; 4 — спуск промывочной воды; 5 — подвод регенерационного раствора; 6 — спуск отмытой воды и первого фильтрата; 7 — штуцер гидровзвешивки фильтрующего материала

Таблица V.15

Удельный расход серной кислоты в г/г-экв	40	50	60	70	80	90	100	125	150	200
α_H	0,62	0,68	0,74	0,78	0,81	0,83	0,85	0,89	0,91	0,92

Рабочая обменная способность Н-катионита

$$E_{\text{раб}}^H = \alpha_H E_{\text{полн}} - 0,5C_K q_{\text{уд}},$$

где α_H — коэффициент эффективности регенерации Н-катионита, зависящий от удельного расхода кислоты; значение коэффициента α_H может быть взято из табл. V.15;

C_K — суммарное содержание в воде катионов кальция, магния, натрия и калия в г-экв/м³.

Величины $E_{\text{полн}}$ находятся по данным, приведенным ранее (см. табл. V.12).

Объем Н-катионита

$$W_H = \frac{Q_H (Ж_0 + C_{Na})}{nE_{\text{раб}}^H}.$$

§ 127. ОСНОВЫ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

Обессоливание — устранение из воды по возможности всех растворенных в ней солей, обычно до солевого содержания в несколько миллиграммов или долей миллиграмма на 1 л в зависимости от требований потребителей. В настоящее время наиболее распространенным способом определения степени чистоты воды является ее оценка по удельной электрической проводимости κ или по обратной величине — удельному сопротивлению $\rho = 1/\kappa$. В растворах малой концентрации электрическая проводимость измеряется с помощью слабого переменного тока, а сопротивление образца — с помощью мостов Уитстона, Кольрауша и др. Так как ρ выражается в Ом·см, то единицей измерения κ служит Ом⁻¹·см⁻¹.

Обессоливание воды может быть достигнуто одним из следующих методов: 1) дистилляцией в испарителях (термический метод); 2) ионным обменом (ионитовый метод). Весьма перспективен метод электро-

Таблица V.16

(по В. А. Клячко, И. Э. Апельцину)

Характеристика воды	Остаточное солевое содержание в мг/л	Удельное сопротивление в Ом·см
Теоретически чистая	0,0	26·10 ⁶
28 раз перегнанная в кварцевой посуде	0,0001	23·10 ⁶
Обессоленная ионитовым методом на установках:		
одноступенчатой	2—10	(0,5—0,8)10 ⁶
двухступенчатой	1—3	(1—5)10 ⁶
трехступенчатой	0,05—0,1	(6—10)10 ⁶
Дистиллированная в испарителях	1—3	(0,1—0,5)10 ⁶
Обессоленная электролизом (с заполнением камер смесью ионитов)	0,01—0,05	(12—15)10 ⁶
Из московского водопровода	200—400	(0,2—6)10 ³

диализа (электрохимический метод) в многокамерных электродиализаторах с ячейками, заполненными специальными смесями ионитов. Однако этот метод находится еще в стадии исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Данные о глубине обессоливания воды этими методами (при исходной воде с содержанием растворенных солей менее 1000 мг/л) и ее удельном сопротивлении приведены в табл. V.16.

Удельное сопротивление воды обратно пропорционально концентрации катионов и анионов, их валентности и подвижности. Для глубоко чистой воды оно определяется количеством ионов H^+ и OH^- . По значению электрического сопротивления судят о величине сухого остатка в воде после ее обессоливания. Однако удельное сопротивление (или электрическая проводимость) не отражает наличия в сухом остатке органических соединений и нейтральных молекул солей металлов, которые имеются в растворах в слабой концентрации.

§ 128. ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ ДИСТИЛЛЯЦИЕЙ

Для обессоливания воды дистилляцией (наиболее старый метод обессоливания) применяют испарители разных типов. Они различаются производительностью, конструкцией и видом потребляемой энергии. Обычно применяют электрические или паровые дистилляторы.

Испарители представляют собой котлы низкого давления, в которых поступающая вода превращается в бедный солями пар и концентрат со значительным солесодержанием, который непрерывно (или периодически) сбрасывается.

Для получения воды большей степени чистоты необходимо обеспечить медленное кипячение, чтобы тяжелые примеси не уносились паром и не попадали в дистиллят. С целью уменьшения расхода энергии дистилляционные установки выполняются многоступенчатыми. Однако с увеличением числа ступеней испарения увеличивается суммарная площадь поверхности нагрева аппаратов и соответственно возрастают капитальные затраты. Оптимальное число ступеней испарения и другие показатели установки обычно выбирают путем сравнения расчетных вариантов.

Одноступенчатые испарительные установки (дистилляторы) применяют при небольшом расходе обрабатываемой воды (не более 2—3 м³/ч).

В многоступенчатых установках вторичный пар каждой ступени, за исключением последней, используется в качестве греющего пара последующей ступени. Вторичный пар последней ступени конденсируется в хвостовом конденсаторе. С увеличением числа ступеней испарительной установки количество дистиллята, получаемого на единицу затраченной тепловой энергии, возрастает. На тепловых электростанциях обычно ограничивают число ступеней двумя — пятью.

Питательной водой испарителей, предназначенных для получения глубоко обессоленной воды, обычно служит пресная вода, отвечающая ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая». Для предотвращения образования накипи $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ на теплообменных поверхностях воду обрабатывают на $H-Na$ -катионитных фильтрах или подкисляют эквивалентным природной щелочности количеством кислоты с целью разрушения бикарбонатов (более подробно о предотвращении образования накипи см. в § 130).

Конструкции испарителей и расчет термических обессоливающих установок приведены в специальной литературе.

На предприятиях электровакуумной промышленности, при производстве полупроводников, цветных телевизионных трубок и в других по-

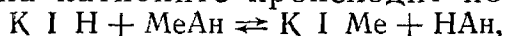
добных случаях применяют обессоленную воду особой степени чистоты (ОСЧ) с содержанием растворенных солей не более 0,02 мг/л [удельное сопротивление около $(10—15) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{см}$]. Эта вода должна быть практически свободна от минеральных, органических и биологических примесей.

Следует отметить, что для получения обессоленной воды «ОСЧ» испарители, теплообменники, трубопроводы, арматура и установки должны изготавливаться из прозрачного кварца или платины. Другие материалы и металлы для них не пригодны.

§ 129. ОБЕССОЛИВАНИЕ ВОДЫ ИОННЫМ ОБМЕНОМ

Более чистую воду (по сравнению с полученной при однократной дистилляции в промышленном масштабе) дает обработка ее на ионообменных смолах — катионитах и анионитах, предварительно переведенных в H^+ и OH^- -форму. Обычно применяют сильнокислотные катиониты типа КУ-2-8.

Обмен катионов на катионите происходит по типовой реакции



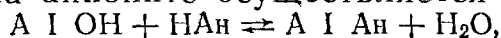
где K — сложный радикал катионита;

I — знак электролитической диссоциации;

Me — катионы солей, подлежащие извлечению из воды;

An — анионы солей в растворе.

Обмен анионов на анионите осуществляется по типовой реакции



где A — сложный радикал анионита.

Современные аниониты, как и катиониты (см. § 124), являются синтетическими высокомолекулярными соединениями.

Катиониты по своим свойствам разделяются на слабо- и сильнокислотные, а аниониты — на слабо- и сильноосновные. В ионитовых обессоливающих установках применяют как слабоосновные аниониты марок АН-2ФГ, АН-18-6, АН-31, так и сильноосновные марок ЭДЭ-10П (среднеосновный), АВ-17-8, АМ.

Слабоосновные аниониты могут поглощать только ионы сильных кислот, например SO_4^{2-} и Cl^- .

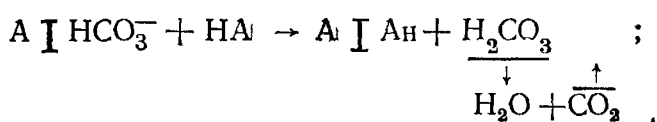
Сильноосновные аниониты отличаются от слабоосновных тем, что кроме ионов сильных кислот они могут поглощать также и ионы слабых кислот, например угольной и кремниевой, заменяя их на ионы OH^- .

Слабоосновные аниониты применяют для того, чтобы разгрузить сильноосновные анионитные фильтры.

Распределение ионов в слое (фильтре) сильноосновного анионита происходит в следующем порядке (сверху вниз): SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} и SiO_3^{2-} .

Преимуществом слабоосновных анионитов по сравнению с сильноосновными анионитами является меньшая их стоимость при высокой рабочей способности поглощения, а также меньший расход реагента на регенерацию. Технологические характеристики катионитов приведены в табл. V.12, а анионитов — в табл. V.17.

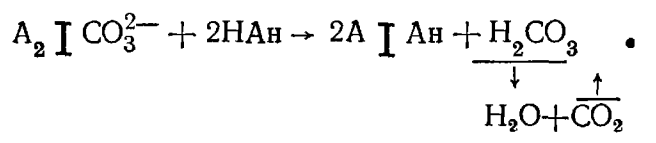
Для обессоливания воды в качестве обменных ионов, находящихся в анионите, могут быть использованы OH^- , HCO_3^- и CO_3^{2-} , которые в результате вторичной реакции с катионом водорода образуют воду или свободную углекислоту, легко удаляемую продуванием воды воздухом или нагревом ее до кипения:



Воспроизводство в анионите обменных ионов достигается путем регенерации его 2—4%-ным раствором соответствующего реагента (NaOH, NaHCO₃, Na₂CO₃ и др.) с последующей отмывкой анионита от продуктов регенерации и неизрасходованного регенерационного раствора.

Таблица V.17

Аниониты	Размер зерен в мм	Объемная масса в набухшем состоянии в т/м³	Полная об- менная спо- собность при ОН-аниони- ровании по SO ₄ ²⁻ —SO ₄ ²⁻ в г-экв/м³	Кремнеем- кость в пере- счете на SiO ₂ до проскака 0,1 мг/л в г-экв/м³
Слабоосновные:				
АН-2ФГ	0,3—1,6	0,4	700	—
АН-18-6	0,3—1,6	0,49	1000	—
АН-31	0,4—2	0,35	1500	—
Среднеосновный ЭДЭ-10П . .	0,4—1,6	0,45	1100	50
Сильноосновные:				
АВ-17-8	0,2—0,85	0,39	800	400
АМ	0,25—1	0,4—0,8	800	400



Процесс регенерации основан на обратимости реакций анионного обмена по аналогии с катионированием.

По данным Всесоюзного теплотехнического института им. Ф. Э. Дзержинского, обессоливание природных вод для питания прямоточных котлов (любых давлений) считается экономически целесообразным, когда суммарное содержание сульфатных, хлоридных и нитратных ионов в исходной воде не превышает 3—4 мг-экв/л (солесодержание не более 300 мг/л).

При одноступенчатой схеме обессоливания воды (Н-катионирование — удаление углекислоты — ОН-анионирование) общее содержание растворенных солей может быть снижено до 2—10 мг/л, что не всегда удовлетворяет технологическим требованиям.

При обессоливании воды в две ступени общее содержание растворенных солей в воде может быть снижено до 1—3 мг/л (в том числе содержание кремниевой кислоты до 0,15 мг/л).

При более высоких требованиях к качеству обессоленной воды (солесодержание 0,05—0,1 мг/л, в том числе кремниевой кислоты 0,02—0,05 мг/л), применяют технологические схемы с трехступенчатым ионированием.

При обессоливании большое значение имеет предварительное освобождение воды от взвешенных веществ, железа и органических примесей. Окисляемость воды, подвергаемой обессоливанию, должна быть в пределах 1—2 мг/л О₂. Если не удастся снизить окисляемость до этой величины, в начале технологических схем обессоливания воды предусматривается установка фильтров с активированным углем марок БАУ, АГ-3 или АГ-5.

На рис. V.69 показана принципиальная технологическая схема трехступенчатой ионитной обессоливающей установки. В теплоэнергетике такие схемы обычно называются схемами полного химического обессоливания воды. Качество обессоленной воды, получаемой на таких

установках, удовлетворяет требованиям проточных котлов любых давлений. Исходная осветленная вода, подаваемая на обессоливание, проходит Н-катионитный фильтр первой ступени 1, загруженный сульфированным углем, и поступает на слабоосновный анионитный фильтр первой ступени 2. Частично обессоленная вода после первой ступени проходит сильнокислотный Н-катионит в фильтре второй ступени 3 и поступает в удалитель уголекислоты (декарбонизатор) 4, снабженный вентилятором 5 и сборным баком Н-катионированной воды 6. Кислото-

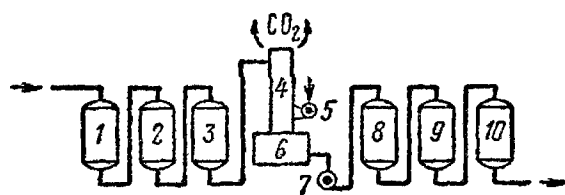


Рис. V.69

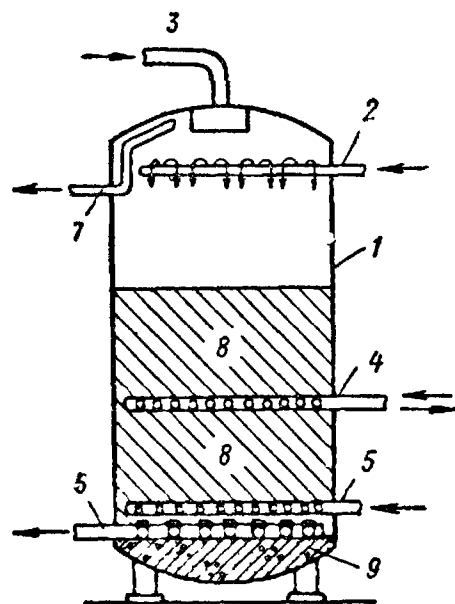


Рис. V.70

1 — корпус фильтра; 2 — распределительная система раствора щелочи; 3 — трубопровод обрабатываемой воды; 4 и 5 — распределительная система соответственно раствора кислоты и сжатого воздуха; 6 — дренажная система; 7 — воздушник; 8 — смешанная катионитово-анионитовая загрузка; 9 — бетон

стойким насосом 7 вода подается на сильноосновный анионитный фильтр второй ступени 8. Этот фильтр удаляет из частично обессоленной воды растворенную кремниевую кислоту. Одновременно с этим происходит поглощение остатков уголекислоты из воды после ее продувки воздухом:



Для третьей ступени обессоливания воды предусмотрен сильнокислотный Н-катионитный фильтр 9, предназначенный для обмена на катион водорода натрия, который может попасть из фильтра с сильноосновным анионитом, преждевременно включенного в рабочий цикл (при недостаточной отмывке анионита от регенерационного раствора NaOH). Анионитный фильтр третьей ступени 10, загруженный сильноосновным анионитом, предназначен для увеличения глубины обессоливания и обескремнивания воды, улавливания продуктов растворения катионитов и задержания сульфатов при недостаточно тщательной отмывке Н-катионитного фильтра третьей ступени от неизрасходованного раствора серной кислоты при регенерации.

Регенерация Н-катионитных фильтров ведется серной кислотой с помощью насосов-дозаторов. Регенерационный раствор серной кислоты 1—1,5%-ной концентрации приготавливают для фильтров первой и второй ступеней из осветленной исходной воды, а для фильтров третьей ступени — из обессоленной воды.

Отмывка Н-катионитных фильтров всех ступеней после регенерации производится водой от предшествующих фильтров.

Сборные кислые воды отводятся в баки-нейтрализаторы. Регенерация анионитных фильтров первой ступени в основном осуществляется щелочными регенерационными водами после анионитных фильтров второй и третьей ступеней, которые регенерируются 4%-ным раствором ед-

кого натра. Концентрированный раствор щелочи подается насосами-дозаторами с разбавлением в трубопроводе до 4%-ной концентрации обессоленной водой.

Отмывка анионитных фильтров первой и второй ступеней проводится Н-катионированной водой фильтров соответствующих ступеней, а фильтров третьей ступени — отмывочными водами анионитных фильтров второй ступени (они по качеству лучше исходной воды). Третья ступень ионирования может быть заменена фильтром со смешанной загрузкой катионита и анионита, находящихся соответственно в водородной и гидроксильной формах, так называемый фильтр смешанного действия — ФСД (рис. V.70). Фильтр отличается от обычного катионитного фильтра наличием на дне распределительной системы 5 сжатого воздуха для перемешивания ионитов и дополнительной распределительной системы 4 раствора кислоты для регенерации катионита, расположенной на границе раздела катионита и анионита 8.

Для приготовления смешанной шихты (загрузки) ФСД применяют гранульные катиониты и аниониты (катионит КУ-2-8, анионит АВ-17-8).

ФСД позволяет значительно увеличить глубину обессоливания воды. Объясняется это тем, что при фильтровании воды через слой смеси ионитов происходит как бы многоступенчатое обессоливание (большое число ступеней Н—ОН). Регенерация ионитного фильтра со смешанной загрузкой производится после разделения ионитов путем соответствующего взрыхления непосредственно в фильтре (внутренняя регенерация) или вне его (выносная регенерация).

Скорость фильтрования в ФСД при высоте слоя ионитов 2—2,5 м находится в пределах 30—50 м/ч. ФСД более сложно регенерируются по сравнению с обычными ионитными фильтрами. Это ограничивает область их применения только случаями, когда рабочий цикл очень большой и регенерация сравнительно редкая операция. В связи с этим наиболее часто их применяют в качестве третьей ступени ионирования в схемах обессоливания воды и для обессоливания конденсата.

Для получения обессоленной воды особой степени чистоты (ОСЧ) разработана (ВНИИ ВОДГЕО) технологическая схема, состоящая из десяти стадий обработки воды, очищенной до требований ГОСТ 2874—73.

Исходную воду перехлорируют дозой хлора 6—10 мг/л, обрабатывают сернокислым алюминием (доза 20—40 мг/л) и направляют в камеру хлопьеобразования (первая стадия обработки). Затем воду направляют на механический фильтр, где задерживаются хлопья коагулянта. Осветленная вода поступает на сорбционный фильтр, загруженный активированным углем марки АГ-5 или АГ-Н, освобождается от органических веществ и дехлорируется (вторая стадия обработки).

На третьей стадии обработки (первая ступень ионирования) вода фильтруется через Н-катионит и слабоосновный ОН-анионит первой ступени. На вакуумном дегазаторе удаляются растворенные газы и частично обессоленная вода подается на вторую ступень обессоливания (сильнокислотный Н-катионит и сильноосновный ОН-анионит) и затем на фильтр со смешанной загрузкой (ФСД). Обессоленная вода освобождается от продуктов разрушения ионитов и других возможных взвесей на намывном фильтре. Наибольшее препятствие получению обессоленной воды ОСЧ оказывают растворенные в природных водах гумусовые соединения, комплексно связанные со многими макро- и микроэлементами. В случае «проскока» этих веществ в обессоленную воду ухудшается ее качество. В описанной схеме для очистки воды от таких веществ принята сорбция их на активированном угле.

§ 130. ОПРЕСНЕНИЕ ВОДЫ

Многие страны испытывают недостаток в пресной воде. Наряду со странами, расположенными в безводных районах земного шара — Кувейт, Алжир, Марокко и др., к ним относятся даже такие страны, как Соединенные Штаты Америки.

Советский Союз по ресурсам поверхностных пресных вод занимает первое место в мире. Однако до 80% этих ресурсов приходится на районы Сибири, Севера и Дальнего Востока. Всего около 20% пресноводных источников расположено в центральных и южных областях с самой высокой плотностью населения и высокоразвитыми промышленностью и сельским хозяйством. Некоторые районы Средней Азии (Туркмения, Казахстан), Кавказа, Южной Украины, Донбасса, юго-восточной части РСФСР, обладая крупнейшими минерально-сырьевыми ресурсами, не имеют источников пресной воды.

Вместе с тем ряд районов нашей страны располагает большими запасами подземных вод с общей минерализацией от 1 до 35 г/л, не используемых для нужд водоснабжения из-за неприемлемо высокого содержания растворенных солей. Эти воды могут стать источниками водоснабжения при условии их опреснения.

Проектные проработки показывают, что подача пресной воды из естественного источника даже на расстояние до 300—400 км дешевле опреснения только для крупных водопотребителей.

Доставка пресной воды в безводные районы с использованием транспортных средств обходится еще дороже.

Оценка прогнозных эксплуатационных запасов солоноватых и соленых подземных вод в этих районах с учетом удаленности большинства из них от естественных пресноводных источников позволяет сделать вывод о том, что опреснение является для них единственно возможным способом водообеспечения.

Наряду с этим во многих районах, чаще всего наиболее развитых в промышленном отношении, имеющиеся естественные пресноводные источники все более и более загрязняются промышленными и бытовыми стоками и становятся непригодными для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Такими стоками, в частности, являются сточные воды шахт, как правило, имеющие повышенное содержание солей и взвесей. Помимо шахтных вод в естественные водоемы пока еще сбрасывается без должной очистки некоторое количество бытовых и промышленных сточных вод, в которых остаются ядовитые вещества.

Применяемые в технике опреснения соленых вод методы могут быть с успехом использованы для возвращения природе использованной воды, не ухудшающей состояния пресных водоемов.

К настоящему времени в мировой практике определились следующие основные методы опреснения воды: дистилляция, ионный обмен, электродиализ, вымораживание, гелиоопреснение и обратный осмос (гиперфилтрация).

Многообразие методов объясняется тем, что ни один из них не может считаться универсальным, приемлемым для любых конкретных местных условий.

Ниже приводится описание методов опреснения, получивших наибольшее распространение.

Дистилляция (термический метод) является наиболее изученным и распространенным методом опреснения соленых, особенно морских вод. Этот метод целесообразен в тех случаях, когда в наличии имеется крупный источник дешевого тепла и большой водоем исходной воды.

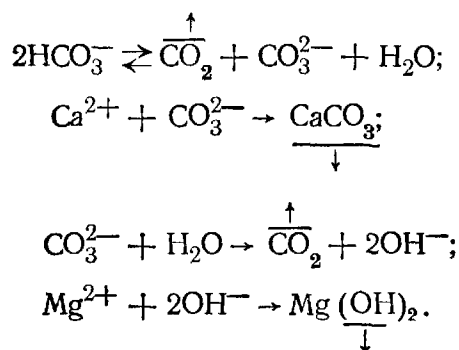
Сочетание дистилляционной установки с тепловой электростанцией на минеральном или ядерном топливе, так называемая многоцелевая энергетическая установка, позволяет обеспечить промышленный район всеми видами энергетических услуг по минимальной себестоимости при наиболее рациональном использовании топлива.

В связи с тем что простая смесь дистиллята и минерализованной (подземной или морской) воды не дает воды необходимого качества, в Советском Союзе разработана и внедрена специальная технология приготовления питьевой воды из смеси дистиллята и минерализованной воды.

Основная трудность опреснения дистилляцией заключается в предотвращении образования накипи на теплообменных поверхностях.

Образование соленых отложений (накипи) ведет к увеличению расхода тепла и электроэнергии, снижает производительность дистилляционной установки. Вызывается их образование следующими условиями. В морской или другой соленой воде содержится много ионов, которые способны образовывать труднорастворимые соединения при увеличении их концентрации (вследствие испарения воды) и при повышении температуры (при постоянной концентрации).

Образование труднорастворимого соединения карбоната кальция (карбонатной накипи) и гидрата окиси магния происходит следующим образом:



Сульфат кальция (гипс) CaSO_4 может кристаллизоваться при температуре выше 100°C (отрицательная растворимость) в виде трех соединений — дигидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, полугидрата $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и ангидрита CaSO_4 .

Кристаллы, образующие накипь, возникают и развиваются в условиях термодинамического перенасыщения при одновременно создавшихся условиях кинетического характера, заключающихся в наличии центров кристаллизации и выдержке раствора в контакте с зародышами в течение определенного времени.

Сущность методов предотвращения образования накипи сводится к устранению одного или нескольких условий, вызывающих ее образование.

Один из наиболее распространенных методов замедления образования накипи из карбоната кальция — введение в испаряемую воду полифосфатов натрия. За рубежом наиболее распространен метод предотвращения карбонатной накипи (и гидрата окиси магния), называемый «методом контроля pH» (стабилизация подкислением). Сущность этого метода сводится к устранению ионов CO_3^{2-} и HCO_3^- путем введения в испаряемую исходную воду стехиометрического (теоретически необходимого) количества кислоты (обычно H_2SO_4) и проведения дегазации с целью удаления CO_2 . Этот метод требует весьма точного дозирования и контроля, чтобы избежать кислотности, вызывающей коррозию материалов.

Умягчение воды с помощью ионообменных смол является одним из

эффективных методов предупреждения образования накипи, однако он дороже предварительной кислотной обработки воды.

Удалить накипеобразующие компоненты из воды перед подачей ее в опреснительную установку можно путем дозирования в нее стехиометрического количества осаждающих кальций и магний веществ, т. е. применения, например, термохимического умягчения исходной воды. Это радикальное средство против образования накипи, но его использование влечет за собой значительное увеличение себестоимости получаемой пресной воды вследствие высокой стоимости реагентов. Однако перспектива утилизации побочных продуктов, получающихся в процессе термоямгчения, может значительно повысить рентабельность метода.

В Советском Союзе широкое распространение получил метод предотвращения накипеобразования с помощью «затравки» (модификация метода контактной стабилизации Ланжелье). Этот метод заключается в следующем. В исходную испаряемую воду перед ее поступлением на установку вводят мелкодисперсное вещество состава выделяющейся накипи. Соединения, образующие накипь, кристаллизуются на частицах затравки, а поверхности теплообменных аппаратов остаются свободными от накипи. Затравку, выводимую из опреснительной установки с концентратом морской воды, улавливают с помощью вертикального отстойника и возвращают в систему.

Применение этого метода эффективно в аппаратах специальной конструкции, в которых кипение из трубок греющих камер вынесено в надтрубное пространство (вынесенная зона кипения).

Основными типами дистилляционных установок, которые в настоящее время получают широкое распространение, являются установки мгновенного испарения и многокорпусной выпарки. У специалистов отсутствует единое мнение в вопросе выбора типа дистилляционной установки, но расчеты показывают, что экономичность их примерно одинакова. Следует отметить, что каждой стоимости тепла для любой опреснительной установки соответствует свое оптимальное число ступеней. Под оптимальным числом ступеней понимается такое, при котором обеспечивается наименьшая сумма затрат на тепло, отчислений от капитальных вложений и эксплуатационных затрат, т. е. наименьшая стоимость дистиллята.

Метод мгновенного испарения («флеш») основан на явлении снижения температуры кипения воды по мере уменьшения давления в испарителях. Подогретая вода, поступая в изолированную вакуумированную камеру (испаритель), частично мгновенно испаряется. Чем выше температура воды и чем глубже вакуум, тем больше вода испарится. На рис. V.71 показана принципиальная схема многоступенчатой (шесть ступеней) прямоточной опреснительной установки. Каждый испаритель (1—6) представляет собой камеру с трубчатым теплообменником в верхней части 7, под которым имеется лоток 8 для сбора и отведения дистиллята. Для очистки пара от капелек соленой воды предназначен пластинчатый сепаратор пара 9. В самой верхней части камеры имеется штуцер 10 для отсоса эжекторным блоком 11 неконденсирующихся газов.

Исходная соленая вода 12, предварительно обработанная для предотвращения образования накипи, последовательно протекая через указанные трубчатые теплообменники, постепенно нагревается до температуры 75—85° С за счет скрытой теплоты конденсации пара, а затем доводится до температуры 90—100° С в вынесенном головном подогревателе 13. Нагретая таким образом вода вводится в первую камеру, которая служит одновременно деаэратором, и далее последовательно протекает через камеры установки под снижающимся вакуумом, соответствующим

в последней камере температуре 45°C . Не испарившаяся вода откачивается по трубе 14 из последней камеры (из-под вакуума) насосом 15 и сбрасывается в дренаж. Дистиллят из лотков откачивается насосом 16 (из-под вакуума) в резервуар пресной воды.

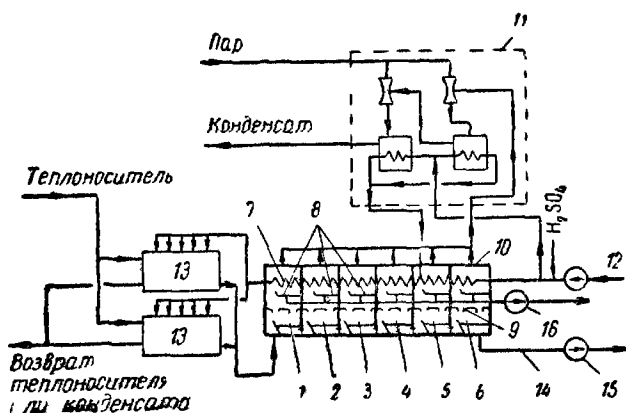


Рис. V.71

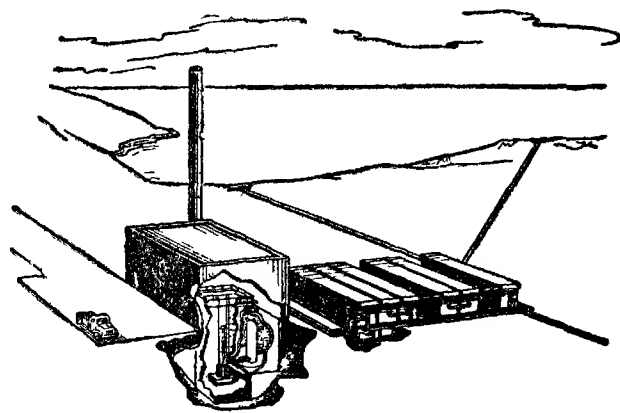


Рис. V.72

Описанная опреснительная установка будет частью крупнейшего в мире завода производства дистиллята, производительность которого при полном развитии составит 140 тыс. м^3 пресной воды в сутки (разработка Свердловского НИИХиммаш). Производительность установки мгновенного испарения 15 тыс. м^3 дистиллята в сутки. При этом выход дистиллята на 1 т пара составит $8,5 \text{ м}^3$. Общая установленная электрическая мощность 2600 квт, расход исходной (морской) воды $3600 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для конкретных условий полуострова Мангышлак оптимальное число ступеней опреснительной установки мгновенного испарения составило 34—40, рабочая температура в первой камере 101°C и в последней камере 35°C .

Следует отметить, что, по мнению специалистов, установки мгновенного испарения весьма перспективны для осуществления опреснительных двухцелевых (производящих пресную воду и электроэнергию) заводов большой мощности, использующих низкопотенциальное тепло атомных реакторов (рис. V.72).

Другой технологической схемой в технике термического опреснения являются установки многокорпусной выпарки — с вертикальными длиннотрубными испарителями-корпусами, включенными последовательно в количестве от четырех до десяти. В нашей стране такие установки получили большее распространение, чем установки мгновенного испарения; они успешно эксплуатируются с 1963 г. в г. Шевченко на Каспийском море. Эти установки имеют относительно небольшое число корпусов (четыре-пять). В настоящее время сооружается более экономичная по затратам тепла десятикорпусная установка (рис. V.73). Исходная вода, освобожденная на сетках морского водоприемника от грубых примесей, поступает в главный конденсатор, где нагревается до 36°C . Затем, пройдя деаэратор и систему регенеративных подогревателей, она поступает в первый корпус выпарных аппаратов. Для предотвращения образования накипи в системе применен метод затравочных кристаллов (затравки). Мелкоразмолотый природный мел (CaCO_3) вводится в опресняемую воду однократно при запуске установки и затем осуществляется рециркуляция затравки.

Вакуум в установке создается и поддерживается с помощью специальных парожекционных устройств и водокольцевых вакуум-насосов. Установки с четырьмя-пятью корпусами оборудуются выпарными аппаратами с естественной циркуляцией. Такие аппараты могут эффективно работать при полезной разности температур в них не менее $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$.

Для установок с десятью корпусами применяют аппараты с принудительной циркуляцией. Они имеют устойчивые показатели (скорость циркуляции, коэффициент теплопередачи) при любых перепадах температур. Производительность десятикорпусной установки (построенной в

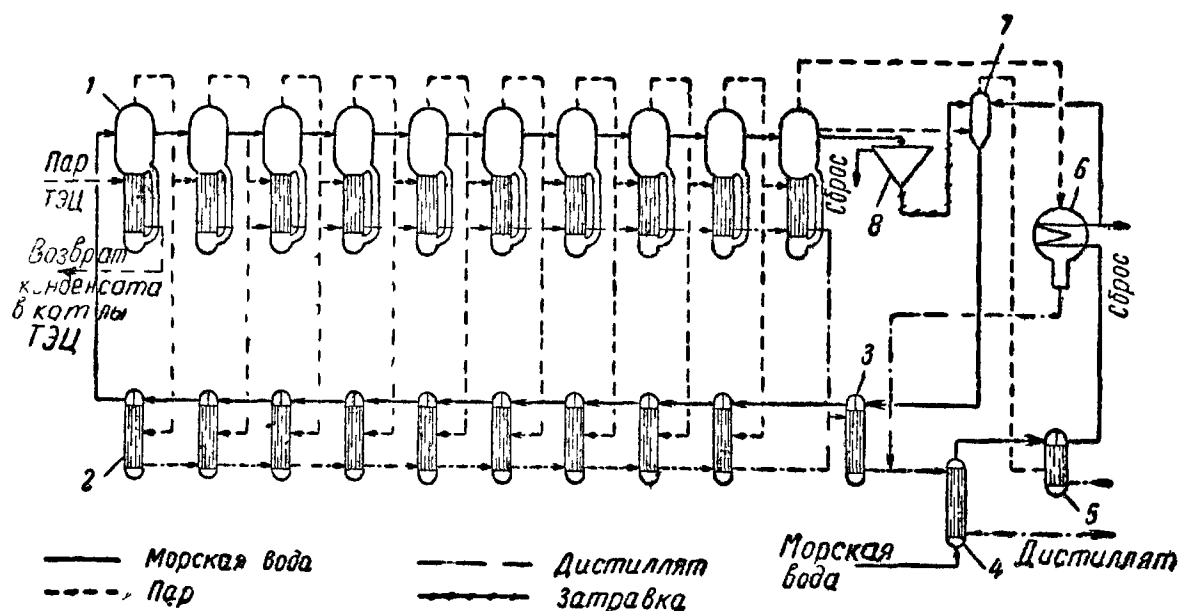


Рис. V.73

1 — выпарные аппараты; 2 — регенеративные подогреватели; 3 — дистиллятный подогреватель; 4 — охладитель дистиллята; 5 — охладитель выпара; 6 — главный конденсатор; 7 — деаэрактор; 8 — отстойник для улавливания затравки

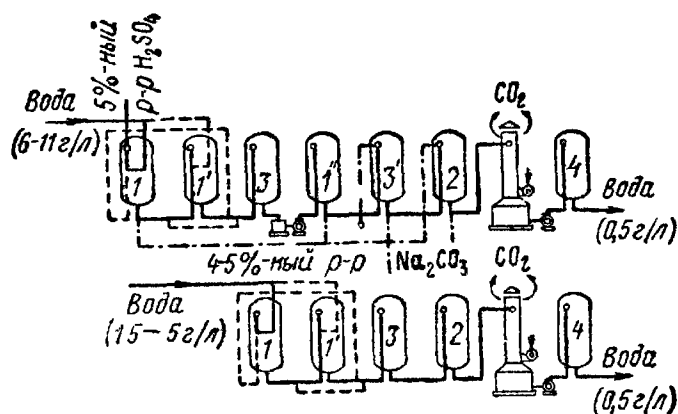
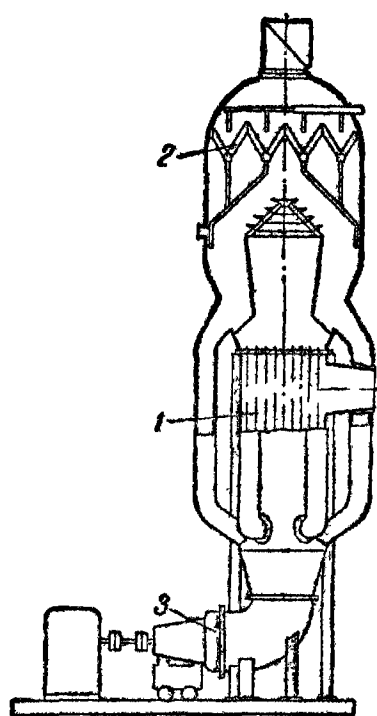


Рис. V.75

Рис. V.74

г. Шевченко) составляет 18 тыс. м³ дистиллята в сутки. Установка эксплуатируется при температуре кипения морской воды в первом корпусе не выше 100—110° С, чтобы избежать выпадения из морской воды сульфата кальция. Температура кипения в десятом корпусе 40° С.

Выпарной аппарат оригинальной отечественной конструкции (рис. V.74) состоит из греющей камеры 1, сепаратора 2 и циркуляционного насоса 3. Греющая камера имеет поверхность нагрева площадью

1600 м², диаметр 3,4 м и высоту 6 м. Очистка пара от капельного уноса производится наклонным жалюзи сепаратора.

На действующей в г. Шевченко установке дистиллят используется не только для приготовления питьевой воды, но и частично для подпитки паровых котлов, поэтому в первых двух корпусах применены более сложные жалюзийные ловушки, имеющие специальные барботажные тарелки с S-образными элементами для более глубокой очистки пара от капелек соленой воды.

Принудительная циркуляция в аппаратах осуществляется с помощью специальных осевых насосов, соединенных с электродвигателями карданным валом с двойным шарниром. Характеристика насоса: подача 18 000 м³/ч и напор 1,5 м. Мощность электродвигателя 160 кВт.

Регенеративные подогреватели по своей конструкции аналогичны трубчатым теплообменникам и имеют поверхность нагрева площадью 300 м². Главный конденсатор — стандартный аппарат, применяемый в теплоэнергетике. Опреснительная установка размещается на открытом воздухе на площадке между рельсами козлового крана, с помощью которого производится монтаж и ремонт оборудования. Основной конструкционный материал аппаратуры, соприкасающийся с морской водой, — двухслойная сталь Ст3+X18H10T. Материал трубок (теплообменных поверхностей) греющих камер и регенеративных подогревателей — алюминиевая латунь, стабилизированная мышьяком.

Ионообменное опреснение воды, как и ионообменное обессоливание, заключается в последовательном фильтровании соленой воды через катионитные и анионитные фильтры, периодически регенерируемые кислотой и щелочью. Рентабельность применения этого метода ограничивается исходным содержанием растворенных солей 1,5—2,5 г/л. Однако при необходимости, когда себестоимость воды не играет большой роли, можно опреснять ионообменным методом воду с весьма высоким солесодержанием.

На рис. V.75 показаны технологические схемы многоступенчатых ионообменных опреснительных установок для природных вод с содержанием растворенных солей 1,5—5 и 6—11 г/л. По этим схемам в Советском Союзе построены и с 1958 г. эксплуатируются промышленные установки.

Схема для опреснения воды, содержащей 1,5—5 г/л, состоит из двух катионитных фильтров (1 и 1') с сильнокислотным катионитом КУ-2-8 и одного фильтра 2 с катионитом-сульфоуглем, регенерируемых серной кислотой, и одного анионитного фильтра 3 с среднеосновным анионитом ЭДЭ-10П, регенерируемого кальцинированной содой, дегазатора и фильтра 4 с мраморной крошкой.

Катионитные фильтры, сильно- и слабокислотный, предварительно переведенные в Na-форму нейтральной водой после отмывки анионитных фильтров, содержащей большое количество ионов Na, регенерируются одной порцией 5%-ного раствора серной кислоты, которую пропускают последовательно через сильнокислотный, а затем через слабокислотный катионит до появления кислой реакции за последним фильтром (расход кислоты, близкий к теоретически необходимому). Удельный расход серной кислоты 56—60 г на 1 г-экв задержанных катионов.

Анионитный фильтр регенерируется раствором 4—5%-ной кальцинированной соды, расходуемой в некотором избытке против теоретически необходимого количества. Удельный расход соды 75 г на 1 г-экв задержанных анионов.

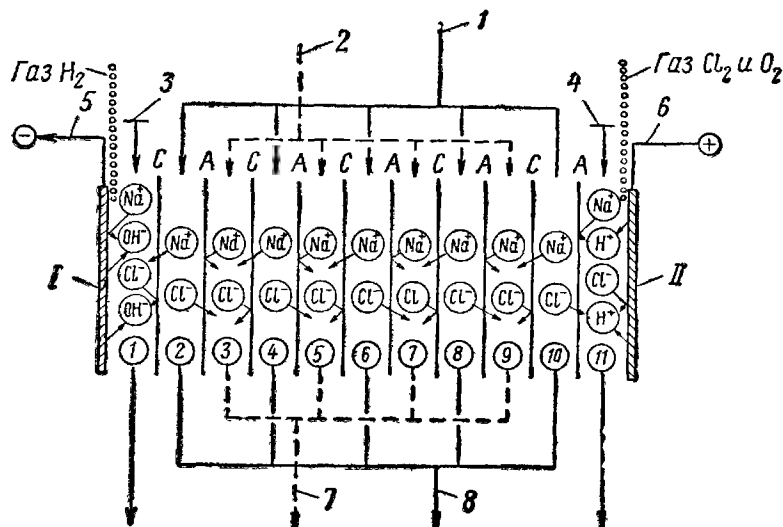
Ионообменный способ опреснения имеет ряд достоинств: простота оборудования, малый расход исходной воды на собственные нужды (15—20% производительности установки), малый расход электроэнергии, малый объем сбросных вод и др. Недостаток ионообменного метода — необходимость в расходовании реагентов; однако в рассмотренных технологических схемах расход их сведен до минимума.

Верхний предел соленосодержания, при котором применение ионообменного способа является целесообразным, должен определяться экономическими соображениями. В специальной литературе описываются несколько различных технологических схем ионообменного опреснения соленых вод (см. И. Э. Апельцин, В. А. Клячко «Опреснение воды». М., Стройиздат, 1968).

Электродиализ как метод опреснения соленых вод получил промышленное значение лишь после освоения производства селективных ионообменных мембран из ионитных смол. Если такой мембраной разграничить раствор поваренной соли (или другого электролита), а затем по

Рис. V.76

1 и 2 — подача солоноватой воды соответственно на опреснение и в рассольные ячейки; 3 и 4 — промывка камер соответственно катодной и анодной; 5 и 6 — к полюсу выпрямителя соответственно отрицательному и положительному; 7 — концентрированный рассол; 8 — опресненная вода



обе стороны мембраны поместить электроды, соединенные с источником постоянного тока, то мембрана будет проявлять свойства униполярного проводника. С помощью ионов мембрана проводит ток лишь одного знака. Изготовленная из катионита, она пропускает положительно заряжен-

Таблица V.18

Мембраны	Размеры мембран в мм	Проч- ность на разрыв в кгс/см ²	Набухае- мость в воде в %	Удельное сопротив- ление	Селектив- ность
				в 0,1 н. растворе NaCl	
Катионитовые:					
МКК	1000×500×0,2	110—120	7—8	90—100	0,95—0,96
МК-40	1000×500×0,3	130—150	11—12	150—180	0,96—0,97
Анионитовые:					
МАК	1000×500×0,15	115—130	8—9	80—100	0,95—0,96
МА-40	1000×500×0,3	130—180	11—12	180—200	0,93—0,96

ные ионы, а анионитовая мембрана пропускает только отрицательно заряженные ионы. Это свойство называется селективностью ионообменных мембран, на нем основан метод электродиализного (электроионитного) опреснения воды. В табл. V.18 приведены основные свойства мембран марок МКК, МК-40, МАК и МА-40, выпускаемых в СССР серийно.

Мембраны изготовляют из термопластичного полимерного связующего (полиэтилен, полипропилен и др.) и ионообменных смол (КУ-2, ЭДЭ-10П и др.) в виде гибких листов прямоугольной формы. Они имеют

большую механическую прочность, высокую селективность и низкое электросопротивление. Срок службы мембран — три — пять лет.

Обрабатываемую воду разделяют чередующимися катионитовыми и анионитовыми мембранами, образующими также чередующиеся концентрирующие и обессоливающие ячейки. Через такую систему пропускается постоянный электрический ток (электрическое поле горизонтального или вертикального направления). Катионы, двигаясь к катоду *I* (рис. V.76), свободно проникают через катионитовые мембраны *C*, но задерживаются анионитовыми мембранами *A*, а анионы, двигаясь в направлении анода *II*, проходят через анионитовые мембраны, но задерживаются катионитовыми. В результате этого из одних ячеек (например, из четных) ионы обоих знаков выводятся электрическим током постоянного направления в смежные ячейки. Поэтому вода в четных ячейках опресняется, а в смежных ячейках концентрация ионов эквивалентно повышается. Аппарат, в котором производится отделение солей от воды, называется многокамерным электродиализатором. Он имеет по одному катоду и аноду (изготовленных из специального графита или платинированного титана) и до 300 ячеек-камер, образованных стенками катионитовых и анионитовых мембран.

Расстояние между мембранами в аппарате обычно принимается от 0,7 до 1,5 мм (размер ячейки). Большое количество мембран специальным устройством поддерживается в строго фиксированном положении. Во избежание коробления и для сохранения размеров ячеек мембраны фиксируются сепараторными сетками из полихлорвинила.

Большое число ячеек в одном электродиализаторе при наличии одного анода и катода сводит до минимума потери на разряд ионов на электродах. Такое инженерное решение позволяет значительно уменьшить расход энергии на отделение солей от воды. Удельный расход электрической энергии на опреснение (без учета расхода энергии на работу насосных агрегатов) W в квт·ч/л определяется из уравнения

$$W = \frac{26,8 (C_0 - C_k) E}{n\eta \cdot 10^6},$$

где 26,8 — количество А·ч, необходимых для переноса 1 г-экв соли;
 C_0 и C_k — солесодержание соответственно исходной и опресненной воды в мг-экв/л;

E — полное напряжение на электродиализаторе в В;

n — количество ячеек (парных) в электродиализаторе;

η — коэффициент выхода по току, принимаемый для современных установок от 0,8 до 0,9 (в зависимости от солесодержания опресняемой воды).

Коэффициент выхода по току зависит от селективности мембран, расхода энергии на побочные электродные процессы, от потерь энергии на выделение джоулева тепла и от размера утечек тока, определяемых конструкцией электродиализатора.

В нашей стране получили широкое распространение электродиализные опреснительные установки типа ЭДУ, выпускаемые серийно производительностью от 5 до 1000 м³ пресной воды в сутки (ЭДУ-5, ЭДУ-50, ЭДУ-100, ЭДУ-1000). В перспективе намечено создание более крупных установок.

Технологические схемы электродиализных опреснительных установок типа ЭДУ в комплексе состоят из следующих узлов: предварительной подготовки исходной воды, собственно электродиализной установки с комплектующим оборудованием, насосов опресненной воды со сбор-

ным резервуаром, фильтров улучшения качества воды (УКВ) и бактерицидных ламп, кислотного хозяйства, хозяйства сжатого воздуха.

Установки ЭДУ-5, ЭДУ-50 и ЭДУ-100 — порционного типа, а установка ЭДУ-1000 — прямоточная.

В установке ЭДУ-50 (рис. V.77) исходная солоноватая вода поступает на фильтры предварительной подготовки 1 и затем в питающий 2 и рассольный 3 баки. Насосами 4, 5 и 6 соответственно на электродиа-

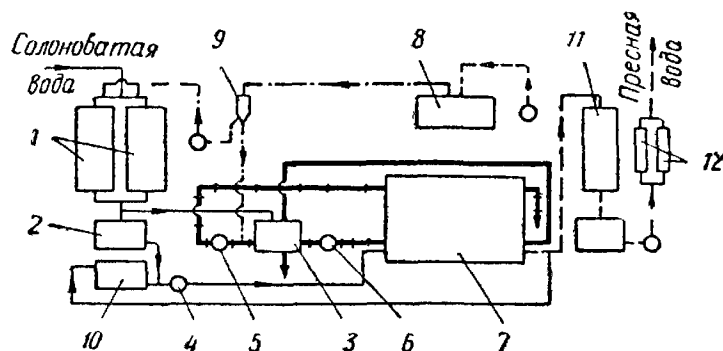
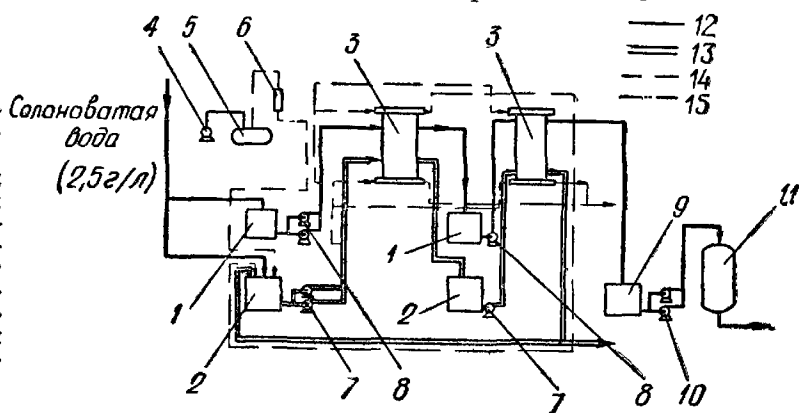


Рис. V.77

лизатор 7 (с горизонтальным электрическим полем) подаются по трубам диализат (опресняемая вода), рассол и промывной раствор. Промывка приэлектродных камер электродиализатора происходит последовательно со сбросом промывного раствора в дренаж, а межпакетных пространств — параллельно с возвратом промывного раствора в рассольный бак. Промывной раствор и рассол подкисляются серной кислотой до pH от 3,5 до 4. Подача кислоты из контейнера 8 в мерник 9 и в

Рис. V.78

1 — баки опресняемой воды; 2 — баки рассола (концентрата); 3 — электродиализаторы; 4 — компрессор; 5 — контейнер с серной кислотой; 6 — мерник; 7 — рассольные насосы; 8 — дилуатные насосы (опресняемой воды); 9 — промежуточная емкость; 10 — насосы пресной воды; 11 — фильтр с активированным углем и мраморной крошкой; 12 — линии опресняемой воды; 13 — линии рассола; 14 — линии промывной воды; 15 — линии кислоты



систему подкисления автоматизирована. Циркуляция диализата происходит на установке по контуру: дилуатный бак 10 — дилуатный насос 4 — электродиализатор 7; циркуляция рассола по контуру: рассольный бак 3 — рассольный насос 5 — электродиализатор 7. Опресненная до заданной на солемере величины вода поступает на фильтр УКВ 11 и далее после бактерицидных ламп 12 выдается потребителю. Процесс опреснения на установке полностью автоматизирован.

Данные о солевом составе воды в системах диализата и рассола записываются на диаграммах солемера и кондуктометра.

На рис V.78 приведена принципиальная схема прямоточной электродиализной опреснительной установки ЭДУ-1000, рассчитанной на опреснение воды с содержанием растворенных солей 2,5 г/л.

Исходная солоноватая вода подается насосами 7 и 8 через одну нитку двух последовательно соединенных элект диализаторов 3 и по-

следовательно проходит по двум ступеням опреснения. Рассол подается на установку по противотоку с применением рециркуляции.

Применяемые в ЭДУ-1000 электродиализаторы имеют вертикальное электрическое поле. Опреснительная установка ЭДУ-1000 полностью автоматизирована; пуск ее осуществляется от одной кнопки с собственного щита или дистанционно.

На электродиализных установках широко применены полимерные материалы благодаря их высоким диэлектрическим свойствам. Электродиализаторы работают под большим напряжением (до 500 В) в условиях высокой влажности, когда при использовании других материалов неизбежны большие утечки тока, значительно снижающие производительность подобных аппаратов и повышающие удельный расход электроэнергии. К полимерным материалам наряду с определенными физико-механическими требованиями предъявляются еще и специальные требования санитарных органов, т. е. они не должны выделять в воду вещества, вредные для организма человека.

На установках типа ЭДУ рамные плиты выполнены из капролона; корпусные рамки-прокладки, образующие между мембранами рабочие ячейки, и закладные перфорированные сетки-сепараторы, — из поливинилхлоридной пленки.

В последние годы внимание специалистов привлекает новый метод опреснения, заключающийся в фильтровании воды через специальные полупроницаемые мембраны. При этом давление, под которым осуществляется фильтрование, должно превышать осмотическое, обусловленное различием концентраций солей в пресной и соленой воде (для воды океана с солесодержанием 35 г/л осмотическое давление составляет примерно 24 кгс/см²). Пресная вода проходит через мембрану, а ионы солей задерживаются. Этот метод опреснения в нашей стране назван «гиперфильтрацией», в зарубежной литературе его часто называют «обратным осмосом».

Этот метод обладает рядом достоинств: минимальный расход энергии (7—8 кВт·ч/м³ пресной воды, получаемой из соленой с содержанием солей 35 г/л), простота конструкции и эксплуатации установок.

Существуют несколько гипотез для объяснения процесса отделения солей от воды при прохождении ее через мембрану под действием приложенного давления. Рассмотрим три из них.

Гипотеза сорбционного механизма основана на свойствах полупроницаемой мембраны адсорбировать своей поверхностью молекулы воды. Таким образом, на поверхности мембраны образуется тонкий слой пресной воды (который необходимо непрерывно отводить) толщиной не менее 4—6 Å. С понижением солесодержания в исходной воде толщина слоя увеличивается. Подходящими поверхностными свойствами, по мнению авторов гипотезы, обладают мембраны из ацетилцеллюлозы, целлофана, обработанного силиконом, нейлона.

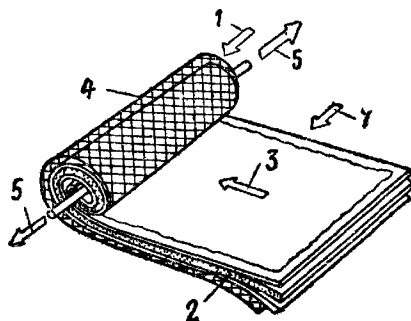
Гипотеза связанной и капиллярной воды предполагает наличие в структуре мембран (например, ацетилцеллюлозных) связанной и капиллярной воды. Первая из них непосредственно связана с активными группами в структуре материала мембраны, вторая (капиллярная) заполняет промежутки внутри этой структуры. По гипотезе, мембрана состоит из поверхностного слоя, содержащего связанную воду и практически не содержащего капиллярной воды, и основного объема мембраны, преимущественно содержащего капиллярную воду. Связанная вода (в силу ее физико-химической природы) не обладает способностью растворять соли исходной воды и поэтому не пропускает ионы солей. Гидратационная способность связанной воды утрачена при создании водо-

родной связи со свободными гидроксильными группами мембраны (например, ацетилцеллюлозы). Пресная вода, проходящая через поверхностный слой мембраны, содержащий связанную воду, непрерывно разрывает и вновь образует водородные связи между молекулами воды и гидроксильными группами ацетилцеллюлозы. По этой гипотезе давление расходуется на разрыв и образование водородных связей.

Согласно третьей гипотезе в мембране существуют поры, которые свободно пропускают молекулы воды и не пропускают гидратированных ионов растворенных солей из-за их размеров. Предполагается, что вода

Рис. V.79

1—подача соленой воды; 2—поддерживающий лист с мембранами на каждой стороне; 3—ход очищенной воды после прохода через мембрану; 4—прокладка со стороны соленой воды; 5—очищенная пресная вода



и часть солей проникают через мембрану с помощью двух параллельных процессов: диффузии и проникания через поры под действием приложенного давления.

Метод гиперfiltrации найдет в ближайшем будущем широкое применение как для опреснения солоноватых вод, так и для приготовления питательной воды для котлов, очистки промышленных стоков и доочистки бытовых сточных вод.

Для практического осуществления процесса, как и в электродиализе, требуется сборка мембранных аппаратов, или, как их называют, модулей мембран. Существует четыре типа модулей мембран: 1) фильтр-пресс; 2) рулонный — спиральная мембрана (рис. V.79); 3) трубчатый (мембраны в виде трубок); 4) полое волокно.

В настоящее время получает распространение идея изготовления мембран непосредственно в установке путем намыва (гидрокастинг).

Глава 24

ОСОБЫЕ ВИДЫ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

§ 131. УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ ЖЕЛЕЗА

Железо в природных водах может содержаться либо в ионной форме (в виде двухвалентного железа, а также в виде неорганических и органических коллоидов), либо в форме комплексных соединений двух- и трехвалентного железа или тонкодисперсной взвеси гидрата окиси железа.

В подземных водах железо чаще всего встречается в виде растворенного двухвалентного железа, а в поверхностных водах — в виде комплексных соединений либо в виде коллоидных или тонкодисперсных взвесей.

Выбору метода обезжелезивания воды должно предшествовать ее пробное обезжелезивание, так как количественное содержание железа, указываемое в анализах, не дает представления о форме, в которой железо присутствует в воде. Пробное обезжелезивание воды заключается в моделировании обезжелезивающей установки по тому или иному существующему методу устранения из воды железа, а именно: 1) аэра-

цией воды с последующим ее фильтрованием или отстаиванием и фильтрованием; 2) коагулированием; 3) известкованием; 4) хлорированием и коагулированием. По результатам пробного обезжелезивания воды выбирают такой метод, при котором достигается требуемый эффект обезжелезивания воды при наименьших строительных и эксплуатационных затратах.

Для обезжелезивания подземных вод чаще всего применяют аэрацию воды без добавления реагентов. Согласно данным НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды, обезжелезивание фильтрованием с так называемой «упрощенной аэрацией» может применяться для подземных вод при общем содержании железа до 10 мг/л (в том числе двухвалентного железа не менее 50%), рН не менее 6,7, щелочности не менее 1 мг-экв/л, содержании сероводорода до 1 мг/л и перманганатной окисляемости не более 6—7 мг/л.

Станция обезжелезивания воды, работающая по методу «упрощенной аэрации», состоит из фильтров, загруженных песком, антрацитом, керамической крошкой и т. п. Крупность фильтрующей загрузки принимается в пределах 0,8—1,8 мм (при высоте слоя загрузки 1 м и скорости фильтрования 5—7 м/ч) или 1—2 мм (при высоте слоя загрузки 1,2 м и скорости фильтрования 8—10 м/ч).

Для окисления двухвалентного железа в трехвалентное, задерживаемое фильтром в виде гидрата окиси, требуется обогащение воды кислородом в количестве 0,6—0,9 мг на 1 мг двухвалентного железа. Аэрация при данном методе осуществляется простейшими приемами — при открытых фильтрах изливом воды из подающей трубы в карман или центральный канал фильтра с высоты 0,5—0,6 м при скорости истечения из трубы 1,5—2 м/с. При применении напорных фильтров воздух можно подавать компрессором в трубу, по которой вода подается в фильтры.

Возможность применения метода обезжелезивания воды «упрощенной аэрацией» и фильтрованием в каждом конкретном случае перед разработкой проекта станции обезжелезивания проверяется пробным обезжелезиванием, выполняемым у используемой скважины¹.

Если пробным обезжелезиванием определено, что метод «упрощенной аэрации» и фильтрования не дает необходимых результатов, то можно применить более интенсивную аэрацию, сущность которой заключается в насыщении воды кислородом воздуха. За счет этого кислорода происходит окисление двухвалентного железа, содержащегося в воде, в трехвалентное. При определенных значениях рН воды трехвалентное железо гидролизуеться и образовавшаяся гидроокись железа коагулирует.

Скорость процессов окисления, гидролиза и коагуляции гидроокиси железа возрастает с увеличением рН воды. Указанные процессы быстро завершаются при рН=7,5. Значение рН воды подземных источников часто ниже этой величины. Для поднятия значения рН воды до 7,5 из нее должно быть удалено некоторое количество свободной углекислоты.

При известной щелочности исходной воды концентрация свободной углекислоты в ней, соответствующая рН=7,5 ($C_{\text{опт}}$), равна (в мг/л):

$$C_{\text{опт}} = C_{\text{ном}} \beta \gamma,$$

где $C_{\text{ном}}$ — концентрация свободной углекислоты в мг/л, определяемая

¹ Методика пробного обезжелезивания описана в «Технических указаниях на проектирование и эксплуатацию установок по обезжелезиванию воды фильтрованием». М., Изд. АКХ, 1972.

Таблица V.19

Солесодержание воды в мг/л	100	200	300	400	500	750	1000
β	1,05	1	0,96	0,94	0,92	0,87	0,83

Таблица V.20

Температура воды в °C	0	10	20	30	40	50	60
γ	1,55	1,21	1	0,9	0,89	0,8	0,79

по номограмме на рис. V.80 при заданных значениях рН и щелочности воды;

β — поправка на солесодержание воды (табл. V.19);

γ — поправка на температуру воды (табл. V.20).

Суммарное расчетное количество свободной углекислоты, которое нужно удалить для поднятия рН воды до 7,5, может быть определено по формуле (в мг/л):

$$C_y = 1,57C_{Fe} + (C_{нач} - C_{опт}),$$

где 1,57 — количество свободной углекислоты в мг, выделяющейся при гидролизе 1 мг железа, содержащегося в исходной воде;

C_{Fe} — общее содержание железа в обезжелезиваемой воде в мг/л;

$C_{нач}$ — начальная концентрация свободной углекислоты в исходной воде в мг/л.

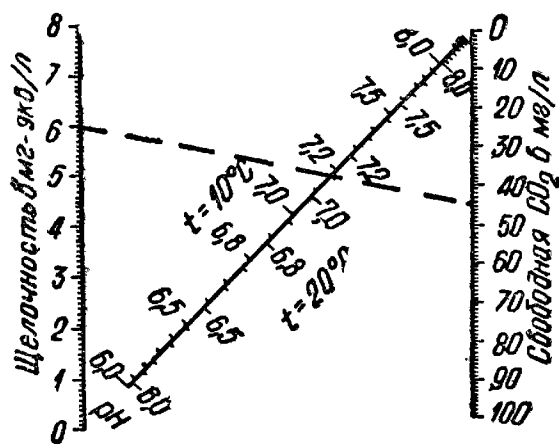


Рис. V.80

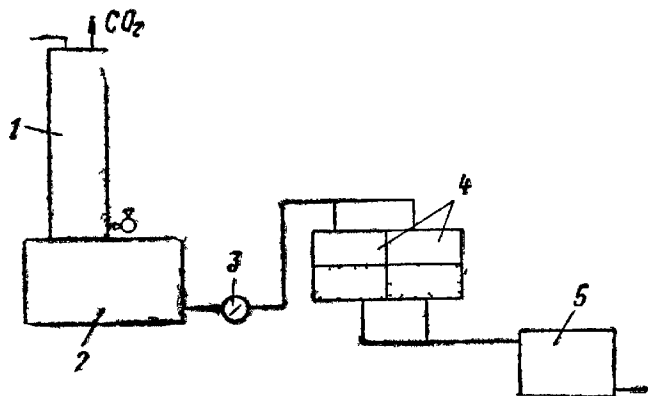


Рис. V.81

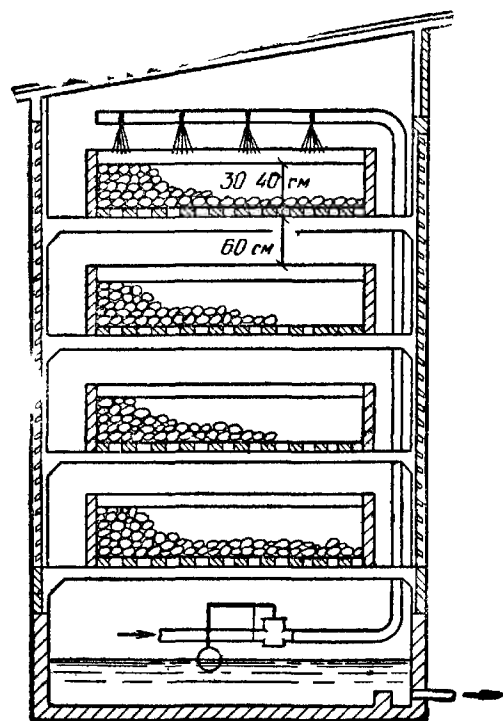


Рис. V.82

Величину $C_{\text{нач}}$ принимают по данным анализа воды или определяют по номограмме на рис. V.80, аналогично определению $C_{\text{опт}}$. Очевидно, что максимальная концентрация свободной углекислоты в воде в начале аэрации будет $C_{\text{макс}} = 1,57 C_{\text{Fe}} + C_{\text{нач}}$.

Аэрация воды с целью удаления углекислоты может осуществляться либо на вентиляторных градирнях (дегазаторах), либо на так называемых контактных градирнях, работающих при естественной вентиляции. Так как на вентиляторных дегазаторах допускается плотность орошения насадки в 4—5 раз бóльшая, чем на контактных градирнях, последние следует применять лишь для установок небольшой производительности (примерно до $75 \text{ м}^3/\text{ч}$).

На рис. V.81. показана схема обезжелезивающей установки с вентиляторным дегазатором. Вода из скважин поступает на дегазатор 1 и далее сливается в контактный резервуар 2. Контактный резервуар служит для завершения процесса окисления двухвалентного железа в трехвалентное, гидролиза последнего и для образования хлопьевидного осадка гидрата окиси железа. Емкость контактного резервуара рассчитывают на пребывание воды в нем в течение 30—40 мин. Для более полного использования объема резервуара целесообразно устанавливать в нем направляющие перегородки.

Из контактного резервуара вода насосами 3 или, если позволяет рельеф местности, самотеком поступает на осветлительные фильтры 4 (открытые или напорные). Назначение фильтров — задерживать хлопья гидрата окиси железа, которые поступают с водой из контактного резервуара. После фильтров вода сливается в резервуар чистой воды 5 и далее подается потребителям.

Поскольку артезианская вода при проходе через очистные сооружения может лишиться своей бактериальной чистоты, по решению органов Государственного санитарного надзора может потребоваться ее обеззараживание. Его осуществляют хлорированием или бактерицидным облучением воды.

Контактная градирня (рис. V.82) состоит из короба с жалюзи по бокам для обеспечения естественной вентиляции. В коробе помещаются несколько расположенных друг над другом ящиков с дырчатым днищем, загруженных слоями насадки (куски кокса, шлак, гравий, пемза и др.). Под коробом расположен контактный резервуар.

При проектировании вентиляторных дегазаторов и контактных градирен принимают нагрузку на 1 м^2 площади соответственно 60 и $15 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Необходимую площадь поверхности загружаемой насадки, а следовательно, и ее высоту находят по формуле (в м^2)

$$F = \frac{G}{K \Delta C_{\text{ср}}},$$

где G — количество удаляемой свободной углекислоты в $\text{кг}/\text{ч}$;
 K — коэффициент десорбции, равный количеству газа, удаляемого в единицу времени через единицу площади поверхности соприкосновения жидкой и газообразной сред при движущей силе процесса десорбции, равной единице, в $\text{м}/\text{ч}$;
 $\Delta C_{\text{ср}}$ — средняя движущая сила процесса десорбции в $\text{кг}/\text{м}^3$.

Величину G (в $\text{кг}/\text{ч}$) определяют по формуле

$$G = \frac{q_{\text{час}} C_{\text{у}}}{1000},$$

где $q_{\text{час}}$ — расход обезжелезиваемой воды в $\text{м}^3/\text{ч}$.

Значение K находят по графику на рис. V.83, а $\Delta C_{\text{ср}}$ (в кг/м³) по формуле

$$\Delta C_{\text{ср}} = \frac{C_{\text{макс}} - C_{\text{опт}}}{2,3 \lg \frac{C_{\text{макс}}}{C_{\text{опт}}}}$$

Характеристика насадок, которые могут быть использованы для загрузки в дегазатор, приведена в табл. V.21.

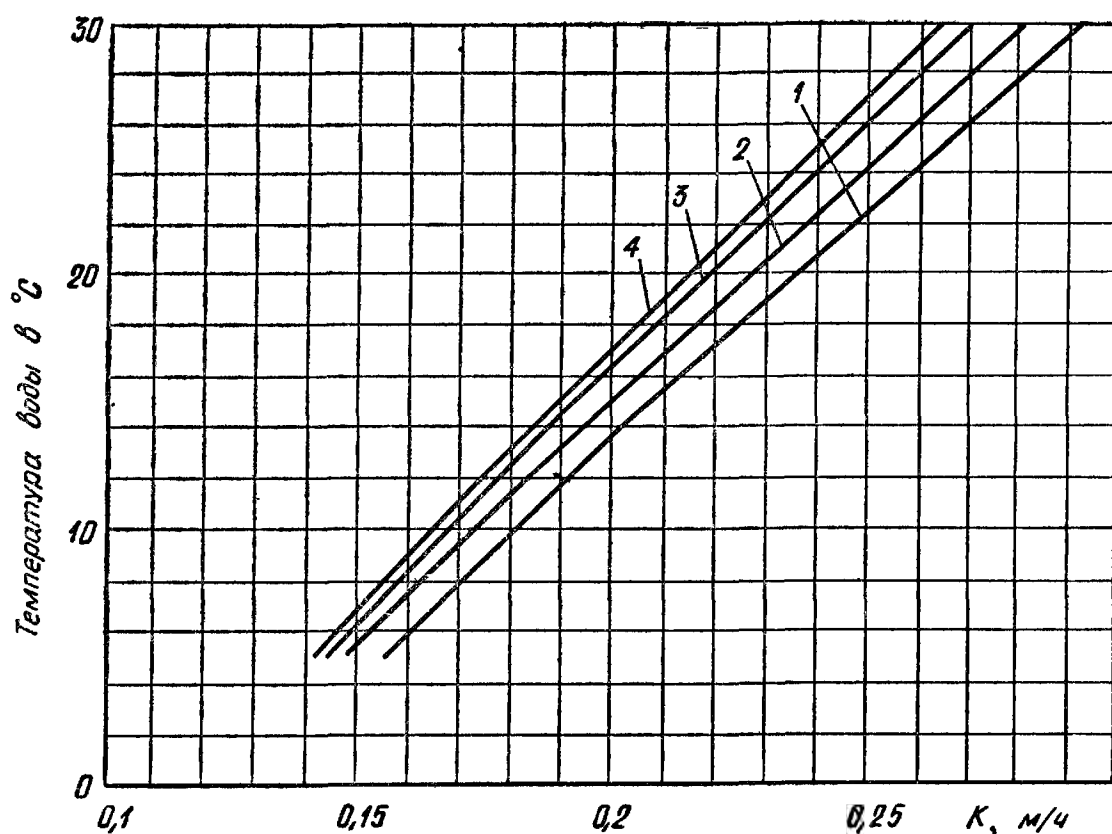


Рис. V 83

1 — для колец Рашига размером 25×25×3 мм; 2 — для гравия средним размером 42 мм; 3 — для кокса средним размером 43 мм; 4 — для кокса средним размером 41 мм

Таблица V 21

Вид насадки	Средний размер элементов насадки в мм	Количество элементов насадки в 1 м ³	Удельная площадь поверхности насадки в м ² /м ³	Масса насадки в кг, приходящаяся на 1 м ³ дегазатора
Кольца Рашига керамические	25×25×3	53 200	204	532
Гравий	42	14 400	80,5	—
Кокс кусковой	43	14 000	77	455
То же	41	12 250	86	585

При загрузке контактных градилен принимают три — пять слоев насадки толщиной по 30—40 см с расстоянием между слоями не менее 60 см.

Для загрузки фильтров следует применять песок крупностью 0,5—1,2 мм, высотой слоя 1200 мм.

В последние годы для обезжелезивания подземных вод начали применять катализаторы. В качестве катализаторов применяют либо природный минерал пиролюзит, либо обычный кварцевый песок, обработанный окислами марганца («черный песок»). Сущность этого способа

заключается в том, что в присутствии окислов марганца процесс окисления двухвалентного железа в трехвалентное значительно ускоряется и может быстро осуществляться даже при пониженных рН воды.

Установка по обезжелезиванию воды в этом случае состоит из двух последовательных групп фильтров. Первую группу фильтров загружают либо пиролюзитом, либо омарганцованным песком. Крупность зерен загрузки принимают 0,7—1,5 мм, высоту слоя загрузки — 900 мм, скорость фильтрования — 15 м/ч. Для восстановления окислительных свойств «черного песка» следует предусматривать периодическое добавление в обезжелезиваемую воду перманганата калия из расчета 2—3 мг/л. Фильтры второй группы — песчаные, такие же, как и при обезжелезивании воды аэрацией.

При необходимости удаления железа из воды поверхностных источников чаще всего прибегают к коагулированию, которое иногда приходится комбинировать с предварительным хлорированием воды для разрушения органических соединений железа или защитных коллоидов, препятствующих коагуляции коллоидных соединений железа.

Обычно обезжелезивание поверхностных вод проводят одновременно с их осветлением на тех же сооружениях.

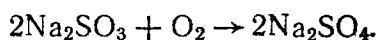
Если необходимо одновременное обезжелезивание и частичное умягчение воды, то прибегают к ее известкованию. Известкование является надежным универсальным методом обезжелезивания воды и приводит в то же время к снижению ее карбонатной жесткости.

§ 132. УДАЛЕНИЕ ИЗ ВОДЫ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ

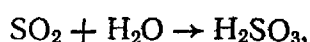
Чаще всего в процессе водоподготовки требуется удаление углекислоты, кислорода и сероводорода. Все три газа относятся к коррозионно-агрессивным газам, обуславливающим или усиливающим процессы коррозии металлов. Углекислота, кроме того, агрессивна по отношению к бетону. Свойство этих газов обуславливать и усиливать коррозионные процессы, а также неприятный запах, который сообщает воде сероводород, во многих случаях вызывают необходимость наиболее полного удаления их из воды.

Комплекс мероприятий, связанных с удалением из воды растворенных в ней газов, называется дегазацией воды.

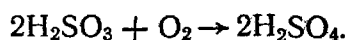
Применяются химические и физические методы дегазации воды. Сущность первых заключается в использовании определенных реагентов, которые связывают растворенные в воде газы. Например, обескислороживание воды может быть достигнуто путем введения в нее сульфита натрия, сернистого газа или гидразина. Сульфит натрия при введении его в воду окисляется растворенным в воде кислородом до сульфата натрия:



В случае применения сернистого газа образуется сернистая кислота:

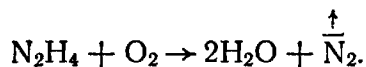


которая кислородом, растворенным в воде, окисляется до серной кислоты:



Химическим реагентом, при помощи которого удастся достичь практически полного обескислороживания воды, является гидразин.

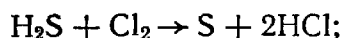
При введении его в воду происходит связывание кислорода и выделение инертного азота:



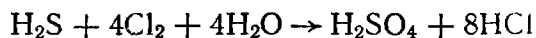
Последний химический способ обескислороживания воды является наиболее совершенным, но вместе с тем и наиболее дорогим ввиду высокой стоимости гидразина. Поэтому этот способ применения в основном для окончательного удаления кислорода из воды после физических методов ее обескислороживания.

Примером химического метода удаления из воды сероводорода может служить обработка воды хлором:

а) с окислением до серы:



б) с окислением до сульфатов:



Эти реакции (так же как промежуточные реакции образования тиосульфатов и сульфитов) протекают параллельно в определенных соотношениях, зависящих в первую очередь от дозы хлора и рН воды. Химическим методам газоудаления свойственны следующие недостатки: а) необходимость применения реагентов, усложняющих и удорожающих процесс обработки воды; б) возможность ухудшения качества воды при нарушении дозировки реагентов. Вследствие этого химические методы газоудаления применяются значительно реже физических.

Физические методы удаления из воды растворенных газов могут осуществляться двумя способами: 1) вода, содержащая удаляемый газ, приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление удаляемого газа в воздухе близко к нулю; 2) создаются условия, при которых растворимость газа в воде становится близкой к нулю.

При помощи первого способа, т. е. при помощи аэрации воды, обычно удаляются свободная углекислота и сероводород, поскольку парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к нулю.

Ко второму способу обычно приходится прибегать при обескислороживании воды, так как при значительном парциальном давлении кислорода в атмосферном воздухе аэрацией воды кислород из нее удалить нельзя. Для удаления из воды кислорода ее доводят до кипения, при котором растворимость всех газов в воде падает до нуля. Вода доводится до кипения либо ее нагреванием (термические деаэраторы), либо путем понижения давления до такого значения, при котором вода кипит при данной ее температуре (вакуумные дегазаторы).

Удаление из воды растворенных газов в процессе водоподготовки осуществляется на дегазаторах различных типов, которые по их конструктивному устройству, характеру движения воды и воздуха и по обстановке, в которой осуществляется процесс дегазации, можно классифицировать следующим образом:

1) пленочные дегазаторы, представляющие собой колонны, загруженные той или иной насадкой (деревянной, кольцами Рашига и др.), по которой вода стекает тонкой пленкой. Насадка служит для создания развитой поверхности соприкосновения воды и воздуха, нагнетаемого вентилятором навстречу потоку воды;

2) барботажные дегазаторы, в которых через слой медленно движущейся воды продувается сжатый воздух;

3) вакуумные дегазаторы, где при помощи специальных устройств (вакуум-насосов или водоструйных эжекторов) создается такое давление, при котором вода кипит при данной температуре.

В технике водообработки в основном применяются пленочные дегазаторы и для обескислороживания воды вакуумные (или термические). Барботажные дегазаторы применяются в виде исключения из-за сравнительно высокой эксплуатационной стоимости (расхода электроэнергии на компрессию воздуха).

При проектировании дегазаторов должны быть определены следующие величины: площадь поперечного сечения дегазатора, необходимый расход воздуха, площадь поверхности насадки, требуемая для достижения заданного эффекта дегазации.

Площадь поперечного сечения дегазаторов должна определяться по допустимой плотности орошения насадки, т. е. по расходу воды, приходящемуся на 1 м² площади поперечного сечения дегазатора. При глубоком удалении из воды углекислоты (до 2—3 мг/л) на дегазаторах, загруженных кольцами Рашига (25×25×3 мм), допустимая плотность орошения насадки 60 м³/(м²·ч), удельный расход воздуха 15 м³/м³; на дегазаторах, загруженных деревянной насадкой из досок, соответственно 40 м³/(м²·ч) и 20 м³/м³; при обескислороживании воды на вакуумных дегазаторах допустимая плотность орошения насадки 5 м³/(м²·ч).

Требуемая площадь поверхности насадок, загружаемых в дегазатор, определяется по формуле, приведенной в § 131. Там же указаны методы определения остальных величин, входящих в эту формулу. Значения K находятся для каждого типа дегазаторов по соответствующим графикам¹.

§ 133. ФТОРИРОВАНИЕ И ОБЕСФТОРИВАНИЕ ВОДЫ

Как показывают опыт использования для питьевых целей природных вод, содержащих фтор (F⁻), а также многочисленные специальные исследования, содержание фтора в воде не должно выходить за определенные пределы. Недостаток фтора в используемой воде вызывает распространение среди населения кариеса зубов (разрушение зубной эмали и дентина). Избыток фтора вызывает флюороз зубов, а в определенных условиях — и флюороз скелета.

В § 79 были приведены рекомендуемые пределы (верхний и нижний) содержания фтора в питьевой воде. Для соблюдения установленных норм необходимо или добавлять в подаваемую воду фтор или искусственно снижать его содержание в воде. Первая операция получила название «фторирование», вторая — «обесфторивание». Обе они нашли достаточно широкое применение в современной практике очистки воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Фторирование воды. В условиях умеренного климата рекомендуемое содержание фтора в воде лежит в пределах 0,9—1 мг/л.

Фторирование воды осуществляется путем добавления к ней — в определенных дозах — различных фторсодержащих веществ. Практическое применение получили кремнефтористый натрий, кремнефтористый аммоний, фтористый натрий и др.

Доза используемого реагента (в мг/л) может быть определена по формуле

$$D_{\text{ф}} = [na - (F^-)] \frac{100}{k} \cdot \frac{100}{C_{\text{р}}},$$

где n — коэффициент, равный 1 при введении реагента в очищенную воду и равный 1,1 при введении реагента перед фильтрами;

¹ Подробнее см. А. А. Кастальский. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки. М., Госстройиздат, 1957.

- a — требуемая концентрация фтора в питьевой воде;
 F — содержание в мг/л фтора в природной воде;
 k — содержание фтора в % в чистом веществе используемого реагента;
 $C_{\text{ф}}$ — содержание в % чистого фторсодержащего вещества в техническом продукте¹.

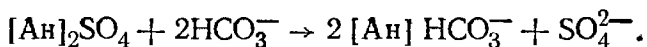
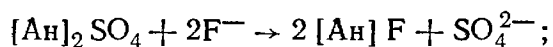
При назначении схемы сооружений для фторирования воды необходимо учитывать как специфические свойства природной воды данного источника, так и характер процессов ее обработки (кроме фторирования) с учетом специфических свойств реагентов, используемых для фторирования.

Установка для фторирования обычно включает сооружения для приготовления раствора реагента, его дозирования и смешения с обрабатываемой водой. Для растворения реагента могут быть использованы различные конструкции растворных баков, а также сатураторы. Дозирование раствора реагента осуществляется при помощи дозирочных бачков, а также различными типами дозаторов. В зарубежной практике распространено также дозирование реагента в виде сухого порошка.

Обесфторивание воды. Обесфторивание воды может быть отнесено к достаточно сложным и дорогим процессам обработки воды.

Для обесфторивания применяются: 1) метод ионного обмена с использованием анионитов, селективных в отношении фтора (в частности, активированной окиси алюминия или гидроксилалпатита); 2) метод сорбции с использованием свежевыделенных осадков (гидроокись алюминия или магния).

Ход процесса обесфторивания по первому методу при условии, что активированная окись алюминия при регенерации заряжена сульфатными ионами, может быть описан уравнениями:



Этот процесс имеет то преимущество, что не приводит к ухудшению остальных показателей качества воды.

При этом необходимо, что содержание в воде сульфатных ионов не превысило допустимой нормы (500 мг/л).

Обесфторивание воды по первому методу осуществляется на напорных или открытых ионообменных фильтрах с дренажем из щелевых колпачков. В качестве анионита используется активированная окись алюминия. Фильтрующий слой активированной окиси алюминия (крупность 1—3 мм) в напорных фильтрах должен иметь высоту 2 м (при содержании в воде не более 5 мг/л фтора) или 3 м (при содержании в воде 8—10 мг/л фтора). В открытых фильтрах соответствующая высота слоя фильтрующего материала будет 2 и 2,5 м.

Фильтрующая загрузка укладывается на слой кварцевого песка (крупностью 2—4 мм) толщиной 10—15 см, располагаемого непосредственно над дренажной системой.

Скорость фильтрования рекомендуется принимать равной 6 м/ч для нормальной работы и не более 8 м/ч при выключении части фильтров на регенерацию.

Продолжительность периода полезной работы фильтра (в ч)

$$T = \frac{HE\omega}{q(C_{\text{исх}} - C_{\text{ср}})},$$

¹ Значения k и $C_{\text{ф}}$ даны в специальной литературе.

где H и ω — соответственно высота слоя фильтрующей загрузки в м и площадь фильтров в м^2 ;
 E — рабочая емкость поглощения фтора сорбентом (900—1000 г фтора на 1 м^3 сорбента);
 q — расход фильтруемой воды в $\text{м}^3/\text{ч}$;
 $C_{\text{исх}}$ и $C_{\text{ср}}$ — соответственно содержание фтора в исходной воде и среднее его содержание в фильтрате (за время T) в $\text{г}/\text{м}^3$; приближенно $C_{\text{ср}} = 0,4 C_{\text{пред}}$, где $C_{\text{пред}}$ — предельно допустимое содержание фтора в обрабатываемой воде.

Регенерация фильтра производится раствором серноокислого глинозема крепостью 1—1,5% [по $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$]. Перед регенерацией фильтр выключается из работы и производится взрыхление его фильтрующей загрузки [путем подачи обратного тока воды с интенсивностью 4—5 л/(с· м^2) в течение 15 мин].

Рекомендуется готовить 10—17%-ный раствор $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и подавать его на фильтр эжектором, где он будет разбавляться рабочей водой до требуемой крепости.

Расход серноокислого глинозема на одну регенерацию составляет

$$G = \frac{qT(C_{\text{исх}} - C_{\text{ср}})D}{10b},$$

где D — доза $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в г на 1 г задерживаемого фильтром фтора (составляет 40—50 г);

b — содержание $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ в техническом продукте (в %).

Подача раствора при регенерации осуществляется сверху вниз со скоростью 2—2,5 м/ч.

Наконец, после регенерации проводится отмывка водой загрузки фильтра от раствора и оставшегося в ее толще фтора [снизу вверх с интенсивностью 4—5 л/(с· м^2)].

§ 134. СТАБИЛИЗАЦИЯ ВОДЫ

Стабильной называют воду, не вызывающую коррозии поверхностей, с которыми она соприкасается, и не выделяющую на этих поверхностях осадка карбоната кальция.

Нестабильными бывают как природные воды, так и вода после ее обработки на очистных сооружениях.

Степень стабильности воды можно оценивать несколькими способами (ГОСТ 3313—46). Экспериментальное определение стабильности воды сводится к тому, что исследуемую воду встряхивают вместе с введенным в нее карбонатом кальция в течение 1—2 ч на специальной машине. При этом до и после встряхивания измеряют общую щелочность воды или рН. Сущность этих испытаний заключается в том, что если в воде имеется избыток свободной углекислоты (признак коррозионности воды), то такая вода будет переводить часть соприкасающегося с ней карбоната кальция в бикарбонат кальция. Это приведет к повышению общей щелочности и рН воды. Если же, наоборот, вода представляет собой пересыщенный раствор карбоната кальция, то последний выделится на зернах карбоната кальция, введенного в воду перед ее встряхиванием. При этом общая щелочность воды и ее рН понизятся.

Значения показателя стабильности, согласно ГОСТ 3313—46, выражаются следующим образом:

$$C_0 = \frac{Q}{S} \text{ или } C_b = \frac{\text{рН}_{\text{иссл}}}{\text{рН}_{\text{нас}}},$$

где Q и S — общая щелочность исследуемой воды соответственно до и после встряхивания ее с карбонатом кальция в мг-экв/л;

$pH_{иссл}$ и $pH_{нас}$ — величины pH исследуемой воды соответственно до и после встряхивания ее с карбонатом кальция.

Если значение C_0 или C_v равно единице, то это свидетельствует о стабильности воды; при значении C_0 или C_v большем единицы, вода нестабильна и способна к отложению карбоната кальция на омываемых поверхностях; при значении C_0 или C_v меньшем единицы, вода обладает коррозионной способностью.

При отсутствии таких опытных данных стабильность воды можно вычислить по так называемому индексу насыщения J :

$$J = pH_0 - pH_s,$$

где pH_0 — pH исследуемой воды;
 pH_s — pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция¹.

Если $J=0$, то вода стабильна; при $J>0$ вода способна отлагать карбонат кальция; при $J<0$ вода обладает коррозионными свойствами.

Согласно СНиП II-Г.3-62 нестабильную воду необходимо подвергать стабилизации в следующих случаях: 1) если J превышает $+0,5$ в течение более десяти месяцев в году; 2) если $J<0$ более восьми месяцев в году.

Стабилизация воды при положительном значении индекса насыщения сводится к добавлению в нее кислоты (обычно серной или соляной), т. е. к понижению pH_0 до такого значения, чтобы значение J стало близким к нулю, вода стала стабильной и отложение карбоната кальция на омываемых поверхностях (стенки труб и др.) прекратилось.

Если вода агрессивна, т. е. $pH_0 < pH_s$, то для ее стабилизации в нее нужно добавлять щелочные реагенты (известь, соду, едкий натр) в таком количестве, чтобы поднять pH_0 до величины pH_s , т. е. опять-таки сделать значение J близким к нулю.

При нестабильности воды в обоих случаях может быть применен гексаметафосфат натрия. При коррозионной воде добавка к ней гексаметафосфата натрия дает возможность образовать на внутренней поверхности стенок труб тонкую, но плотную метафосфатную пленку, которая предохраняет металл труб от непосредственного соприкосновения с водой. В случае способности воды отлагать карбонат кальция добавка в нее гексаметафосфата натрия предотвращает рост кристаллов карбоната кальция и их осаждение на стенках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Апельцин И. Э., Клячко В. А. Опреснение воды М., Стройиздат, 1968.
 Кастальский А. А., Минц Д. М. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М., «Высшая школа», 1962.
 Клячко В. А., Апельцин И. Э. Очистка природных вод. М., Стройиздат, 1971.
 Кожин В. Ф. Очистка питьевой и технической воды М., Стройиздат, 1971.
 Кургаев Е. Ф. Основы теории и расчета осветлителей М., Госстройиздат, 1962.
 Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки вод. М., Стройиздат, 1964.

¹ О методе подсчета pH_s см. А. А. Кастальский, Д. М. Минц. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М., «Высшая школа», 1962, а также СНиП II-Г.3-62.

Глава 25

ВИДЫ РЕГУЛИРУЮЩИХ И ЗАПАСНЫХ ЕМКОСТЕЙ

Емкости, используемые в системах водоснабжения, могут быть классифицированы следующим образом.

1. По функциональному признаку (по их назначению):

- а) регулирующие;
- б) запасные;
- в) запасно-регулирующие (т.е. объединяющие в одном сооружении функции аккумуляирования и хранения воды).

2. По способу подачи воды из них в сеть:

- а) напорные, которые обеспечивают напор, необходимый для непосредственной подачи воды в водопроводную сеть;
- б) безнапорные, из которых воду нужно забирать насосами¹.

Напорные емкости в зависимости от конструкции подразделяют на следующие основные типы:

- а) водонапорные башни (напор обеспечивается установкой резервуара на поддерживающей конструкции требуемой высоты);
- б) напорные резервуары (напор обеспечивается установкой резервуара на естественных возвышенностях с требуемыми отметками);
- в) водонапорные колонны (занимают промежуточное положение между наземными резервуарами и башнями);
- г) пневматические водонапорные установки (напор обеспечивается давлением сжатого воздуха на поверхность воды в герметически закрытых резервуарах).

Регулирующие емкости позволяют обеспечить более или менее равномерную работу насосных станций, так как отпадает необходимость в подаче ими пиковых расходов воды, а также уменьшить диаметр, а следовательно, и стоимость водопроводов и транзитных магистралей водопроводной сети.

Правильный выбор размеров регулирующих емкостей, их числа и мест расположения в системе водоснабжения имеет большое экономическое значение.

Запасные емкости способствуют повышению надежности систем водоснабжения, т.е. обеспечивают выполнение одного из основных требований, предъявляемых к этим системам.

Для правильного решения вопроса о выборе размеров емкостей при проектировании необходим тщательный технико-экономический анализ системы водоснабжения и намечаемого режима ее работы.

Разделение полной расчетной регулирующей емкости между несколькими башнями и резервуарами и их правильное размещение на местности могут в значительной степени снизить неравномерность нагрузки сети в отдельные моменты ее работы в результате изменений водопотребления.

¹ В зарубежной технической литературе емкости первого типа иногда называют активными, а емкости второго типа — пассивными.

Глава 26

ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

§ 135. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ
И ОБОРУДОВАНИИ ВОДОНАПОРНЫХ БАШЕН

Основными элементами всякой водонапорной башни являются резервуар или бак 1 и поддерживающая конструкция 2 (рис. VI.1, а).

Емкость бака W и высота поддерживающей конструкции H (измеряемая от поверхности земли до низа бака) определяются в процессе проведения основных расчетов системы водоснабжения и принимаются как заданные при проектировании башни.

В практике строительства водонапорных башен размеры W и H меняются в широких пределах. Емкость бака колеблется от нескольких десятков кубических метров в малых водопроводах до нескольких тысяч кубических метров в больших городских и промышленных водопроводах. В ряде зарубежных стран имеются примеры сооружения башен с баками весьма большой емкости. Высота башни (точнее, высота поддерживающей конструкции) обычно лежит в пределах 15—30 м (и в редких случаях превосходит 30 м).

Баки в большинстве случаев устраивают круглой формы в плане. Соотношение высоты и диаметра бака диктуется как технологическими, так и архитектурно-строительными соображениями. Большая высота бака нежелательна, так как вызывает увеличение высоты подъема воды, а также значительные колебания напоров в системе. Водонапорная башня, особенно в городских водопроводах, должна удовлетворять эстетическим требованиям, которые предъявляются ко всем архитектурным сооружениям. Некрасиво выполненная башня может нарушить гармоничность всего архитектурного ансамбля того района, где она расположена.

Наконец, при выполнении баков из того или иного материала следует учитывать требования технико-экономического порядка, определяющие наиболее экономичные решения конструкции при данном материале и заданных высоте и емкости.

В некоторых случаях (например, на промышленных предприятиях при наличии двух или нескольких сетей разного напора) устраивают башни с двумя и более баками, расположенными на разной высоте.

Иногда бак водонапорной башни окружают шатром 3 (рис. VI.1, а) для предохранения воды от замерзания и частично от засорения. Шатры делают облегченной конструкции железобетонными или деревянными — в зависимости от типа и конструкции башни. Расстояние a между стенками бака и шатра должно быть не менее 0,7—0,8 м. В шатре вокруг бака устраивают легкое перекрытие 4 и устанавливают металлическую лестницу 5 для входа в бак. В шатер входят из подбаковой камеры 6, устраиваемой в верхней части поддерживающей конструкции башни. При благоприятных климатических условиях в устройстве шатра нет необходимости.

Исследования, проведенные в последние годы, показали, что даже

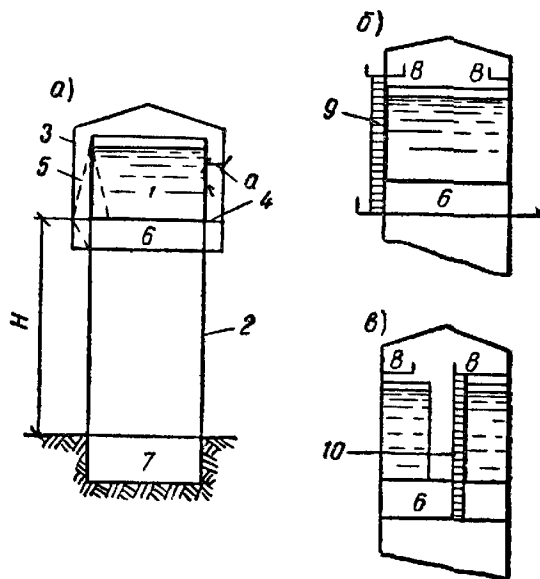


Рис. VI.1

в относительно суровых климатических условиях вполне можно обойтись без устройства шатра, если обеспечивается достаточный обмен воды в баке. При использовании подземных вод (имеющих обычно постоянную температуру около $8-9^{\circ}\text{C}$), как правило, можно обойтись без шатра. В новых башнях большой емкости шатры обычно отсутствуют.

Башня, как правило, имеет подвальное помещение 7, в котором располагаются задвижки на водопроводных трубах.

В бесшатровых башнях (рис. VI.1, б и в) над баком устраивают кровлю и кольцевой балкон 8. Вход в бак из подбаковой камеры 6 возможен или по внешней лестнице 9 (рис. VI.1, б) или через внутренний цилиндрический лаз 10 в центральной части бака (рис. VI.1, в). В последнем случае усложняется конструкция бака, но улучшаются условия его обслуживания.

Поддерживающие конструкции водонапорных башен выполняются из различных материалов (сталь, железобетон, кирпич, дерево) в виде системы колонн (или стоек) или несущей стенки; они весьма разнообразны и имеют различное архитектурное оформление.

В современной водопроводной практике наиболее широкое распространение имеют железобетонные башни с железобетонными баками. В некоторых странах (например, в США) преимущественно используются стальные башни при широком диапазоне размеров емкости и высоты. В прошлые годы было построено много башен с каменной (в основном кирпичной) поддерживающей конструкцией и со стальными (иногда железобетонными) баками. Наконец, во временных и мелких системах сельскохозяйственного водоснабжения с малым расходом воды применяют иногда деревянные поддерживающие конструкции с металлическими баками.

При устройстве поддерживающей конструкции в виде сплошных несущих стенок (железобетонных, кирпичных), а также при заполнении стенками пространства между несущими колоннами образуется закрытое помещение часто весьма значительного объема. Вопрос о рациональном использовании этого помещения представляет несомненный интерес. При его решении следует прежде всего иметь в виду необходимость защиты воды, хранящейся в баке, от каких-либо загрязнений или заражений. По санитарным соображениям доступ к баку посторонних лиц должен быть категорически воспрещен. Пространство, расположенное ниже подбаковой камеры, может быть использовано для служебных и конторских помещений водопроводного хозяйства, складов и т. д. По такому пути обычно идет решение этого вопроса в нашей стране. В зарубежной практике есть примеры расположения в помещениях башни (предусмотренного при ее проектировании) ресторанов, отелей и т. п.

Водонапорные башни в соответствии с их назначением должны быть оборудованы трубами и арматурой. Устройство подающих и отводящих воду труб возможно по одной из схем, приведенных на рис. VI.2.

По схеме, приведенной на рис. VI.2, а, устраивают одну общую подающе-отводящую трубу 1, рассчитанную на подачу (в бак или из бака) воды в количестве, равном разности количества воды, подаваемой насосами и расходуемой потребителями. Конец этой трубы располагают у низа бака на высоте, предотвращающей засасывание в трубу ила, который может периодически скапливаться в самых низких точках бака. Эта схема может быть применена при расположении башни в любой точке сети (в некоторых случаях, например, когда башня работает как контррезервуар, труба 2 отсутствует). При такой схеме получается наименьшая стоимость труб, которыми оборудуется башня, и достигается некоторое сокращение расхода энергии на подъем воды, так как сниже-

ние уровня воды в баке (с высоты H_1 до высоты H_2) обуславливает соответствующее снижение рабочего напора насосов.

По схеме, приведенной на рис. VI.2 б, башня оборудуется двумя трубами: подающей 1 и отводящей 2, между которыми может быть устроено (в подвале) аварийное переключение. Такая схема может быть применена только при расположении башни в начале сети. Здесь вся вода, подаваемая насосами, проходит через бак, и насосы всегда работают с напором, соответствующим наивысшему положению уровня воды в баке H_1 , что вызывает увеличение напора насосов и расхода энергии на

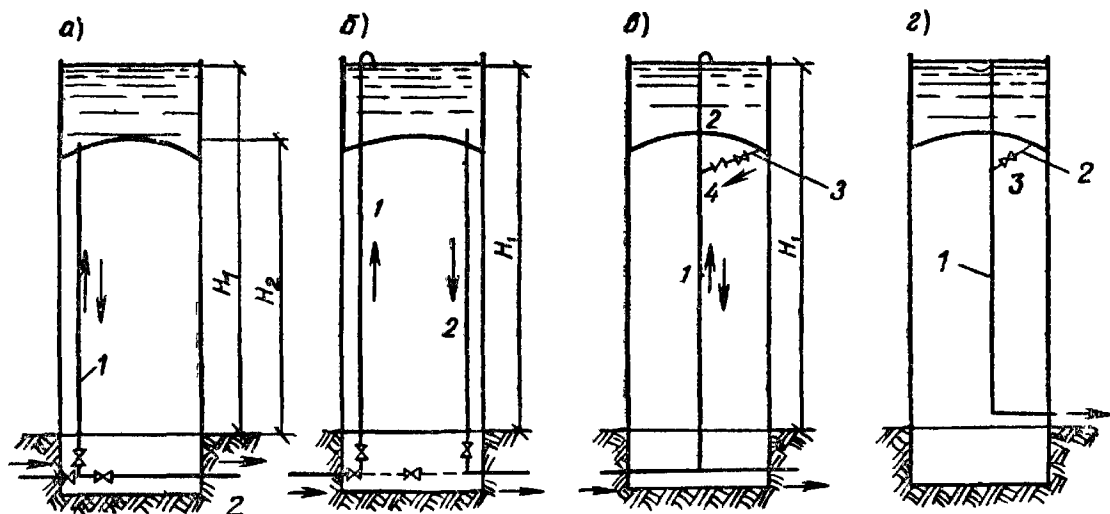


Рис. VI.2

подачу воды. По этой схеме у нас осуществлено оборудование ряда ранее построенных башен, но для вновь сооружаемых башен она не может быть рекомендована.

На рис. VI.2, в показано некоторое компромиссное решение, предусматривающее устройство единой подающе-отводящей трубы 1 с разделением её у бака на подающую 2 и отводящую 3. На последней установлен обратный клапан 4, препятствующий поступлению по ней воды в бак. Эта схема позволяет осуществлять постоянное перемешивание воды в баке; перемешивание воды способствует сохранению ее свежести и препятствует ее замерзанию зимой. По этой схеме, так же как и по схеме, показанной на рис. VI.2, б, насосы всегда должны иметь напор, соответствующий наивысшему уровню воды в баке башни.

Разновидностью этой схемы является схема (принятая в типовых проектах Союзводоканалпроекта), при которой подающая труба 2 не доводится до верха бака. Это дает возможность несколько сократить перерасход энергии на подачу воды (имеющий место при схеме на рис. VI.2, в) и осуществить частичное перемешивание воды в баке.

Кроме основных подающих и отводящих труб башня должна быть оборудована переливной 1 и спускной 2 трубами (рис. VI.2, г). Переливную трубу доводят до наибольшего допустимого уровня воды в баке, чем обеспечивается автоматический отвод воды из бака при его переполнении¹. Отводимая вода сбрасывается в водосток. Диаметр переливной трубы рассчитывается на отвод всей подаваемой насосами воды. Эта труба заканчивается вверху воронкой, диаметр входа в которую примерно в два раза превышает диаметр трубы. К переливной трубе присоединяется спускная труба 2, идущая от наинизшей точки бака и позво-

¹ Во избежание переполнения бака при небольших диаметрах подающей трубы на ней иногда устанавливают поплавковые клапаны.

ляющая опорожнять его (открывая задвижку 3) при ремонте или промывке.

Для оборудования башни применяют обычно стальные трубы. На вертикальных трубах устанавливают сальниковые компенсаторы для восприятия температурных изменений длины труб.

Если поддерживающая конструкция башни выполнена в виде системы колонн без устройства между ними стенового заполнения, трубы в целях утепления приходится помещать в специальной вертикальной цилиндрической шахте.

Башня оборудуется сигнализационными устройствами, передающими показания об уровне воды в баке или сигналы при достижении уровнем критических (верхнего и нижнего) положений на насосную станцию или в какой-либо диспетчерский пункт водопроводного хозяйства.

§ 136. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

Железобетонные водонапорные башни имеют широкое распространение в нашей стране и за рубежом.

При малой и средней емкости баки железобетонных башен обычно имеют цилиндрическую форму с плоским или сферическим (вогнутым) днищем. В последние годы получают большее распространение железобетонные баки с плоским днищем, так как хотя применение сферических днищ и дает экономию материала, но вызывает удорожание строительных работ.

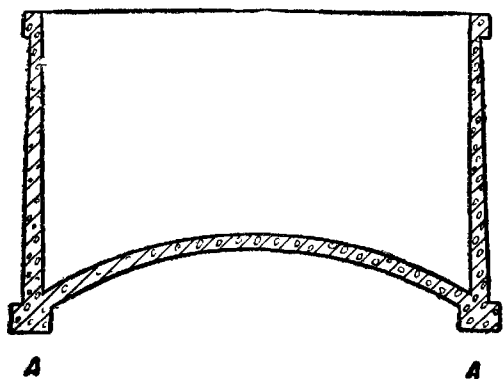


Рис. VI.3

Баки со сферическим днищем (рис. VI.3) опираются на кольцевую балку А, а последняя опирается на сплошную цилиндрическую стенку ствола башни или на систему вертикальных или наклонных колонн. В ряде случаев между колоннами устраивают один пояс или несколько поясов горизонтальных схваток.

На рис. VI.4 показана конструкция типовых железобетонных башен, разработанных институтом Союзводоканалпроект. Цилиндрический бак с плоским днищем располагается на поддерживающей конструкции в виде сплошной стенки, опирающейся на ленточный фундамент. Проектами предусмотрены башни высотой от 15 до 40 м с емкостью бака от 100 до 800 м³. Преимуществом поддерживающей конструкции в виде сплошной цилиндрической стенки является возможность возведения ее в подвижной опалубке.

На рис. VI.5, а схематически показана конструкция железобетонной башни, имеющей бак со сферическим днищем. Бак опирается на сплошную цилиндрическую стенку.

На рис. VI.5, б показана железобетонная водонапорная башня с баком емкостью 500 м³ в форме усеченного конуса (Социалистическая Республика Румыния). Поддерживающая конструкция выполнена в виде монолитного железобетонного цилиндра, построенного в подвижной опалубке. Высота башни до низа бака 24 м. Башня опирается на кольцевую железобетонную подушку, покоящуюся на бетонном блоке.

На рис. VI.6 показан типовой проект (ЦНИИЭП инженерного оборудования) башни, имеющей железобетонный ствол и стальной бак с коническим днищем; емкость бака предусматривается в диапазоне от 25 до 800 м³. Подобный же проект разработан и для башни с кирпичным стволом.

В последнее время для водонапорных башен все шире применяется предварительно напряженный железобетон (в основном для баков). Применение предварительно напряженного железобетона увеличивает водонепроницаемость баков.

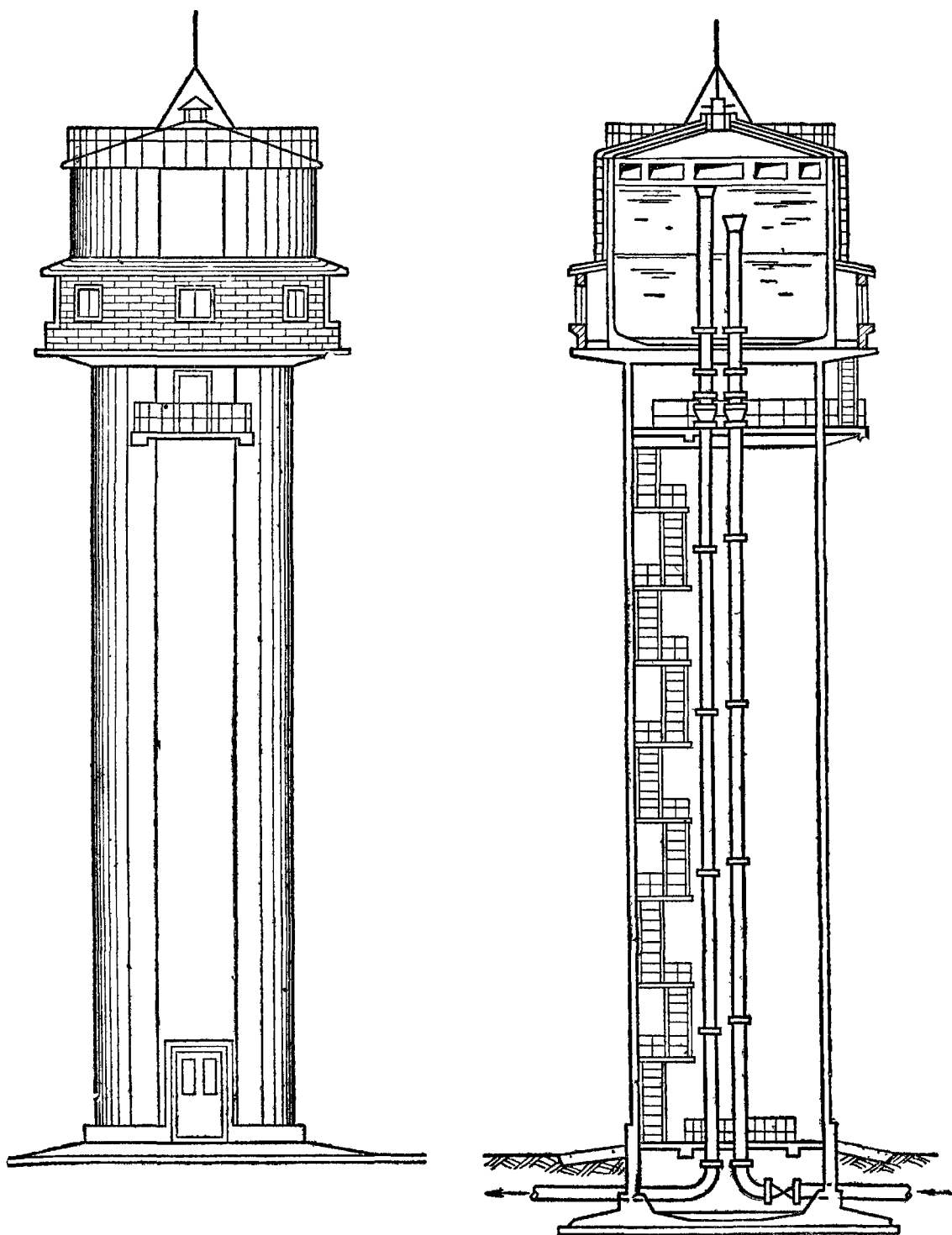


Рис. VI 4

На рис. VI.7 показана одна из таких башен, построенная в Швеции в 1960—1962 гг. (Фредриксдаль). Бак состоит из двух отделений суммарной емкостью 7600 м^3 и опирается на восемь цилиндрических колонн. Бак был выполнен на поверхности земли и постепенно поднят на требуемую высоту домкратами при соответствующем наращивании колонн.

Имеются разновидности этой башни, где колонны заменены сплошной стенкой. Башня в этом случае получает вид громадного гриба.

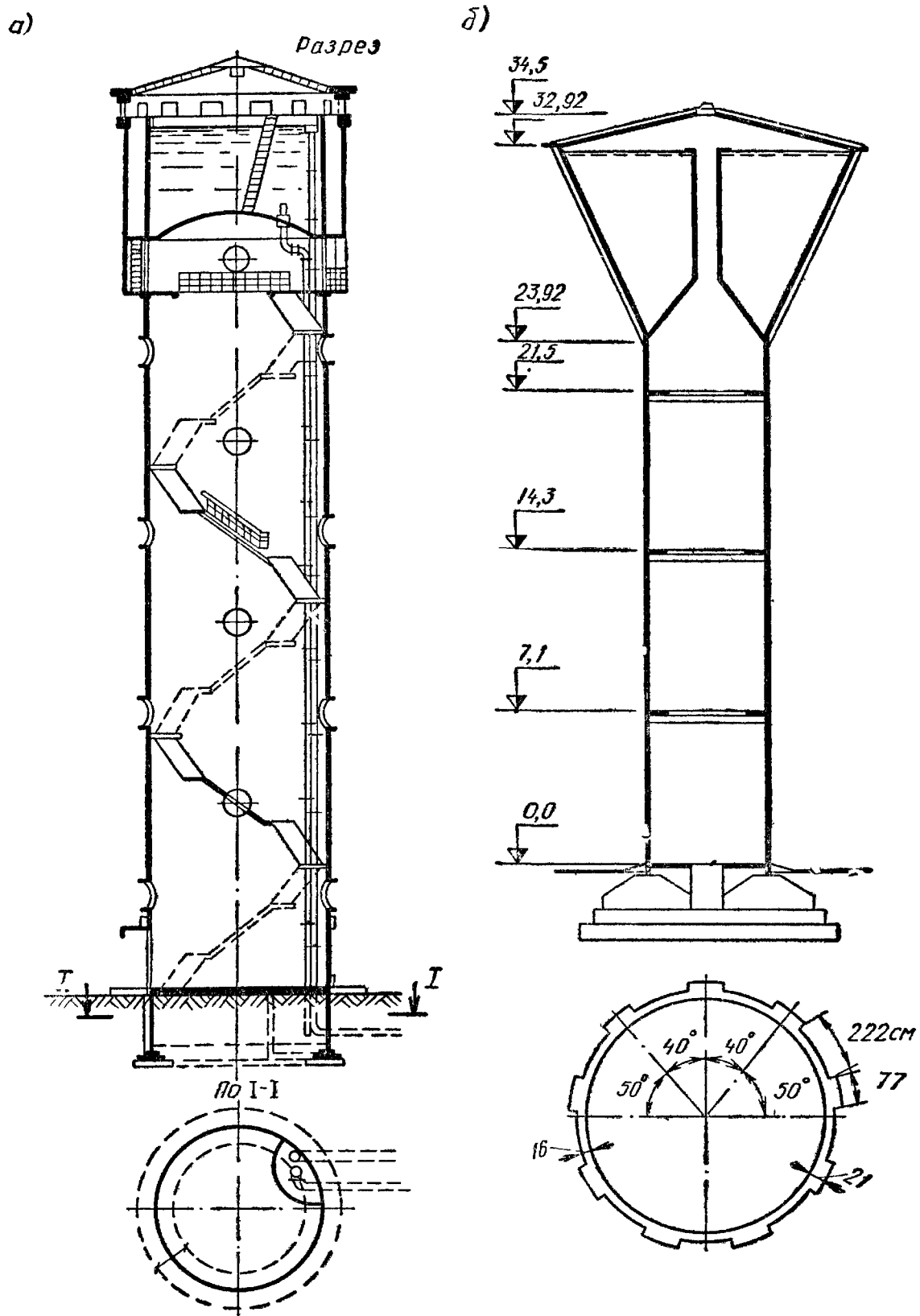


Рис. VI.5

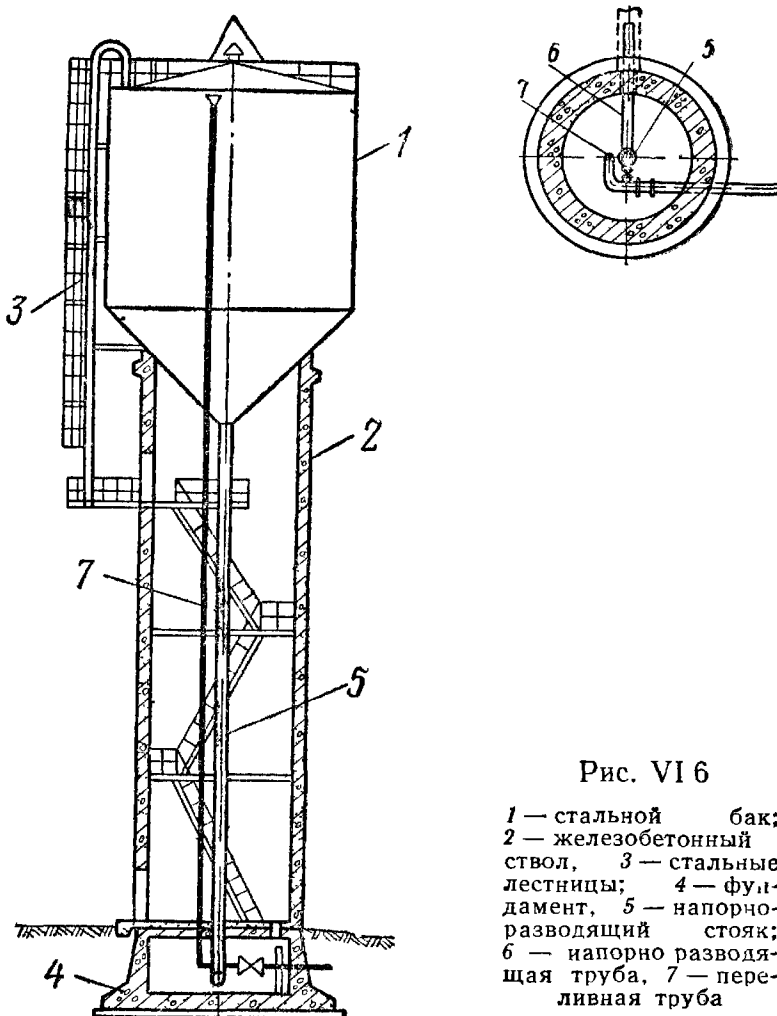


Рис. VI 6

1 — стальной бак;
2 — железобетонный
ствол, 3 — стальные
лестницы; 4 — фун-
дамент, 5 — напорно-
разводящий стояк;
6 — напорно разводя-
щая труба, 7 — пере-
ливная труба

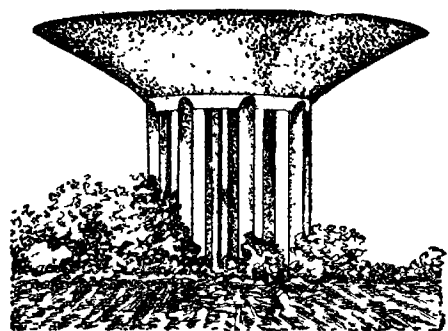
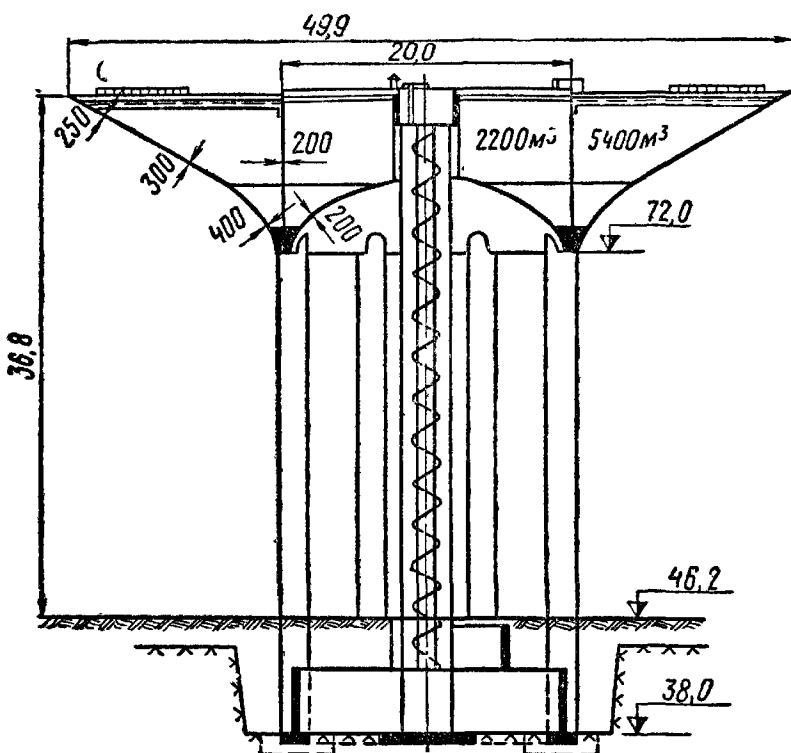


Рис. VI.7

§ 137. СТАЛЬНЫЕ ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

Стальные башни как в нашей стране, так и за рубежом получили меньшее распространение по сравнению с железобетонными. Исключения составляют США.

К достоинствам стальных башен могут быть отнесены полная водонепроницаемость баков, малый вес, заводское изготовление деталей, обеспечивающее относительно быстрый монтаж их на месте строительства, а также большая сейсмостойкость.

К существенным недостаткам стальных башен относятся подверженность их коррозии и трудность защиты от нее, а также сложность термоизоляции.

Внедрение в практику строительства предварительно напряженного железобетона в еще большей степени способствует распространению железобетонных башен вместо стальных.

В нашей стране небольшие стальные башни используются в сельскохозяйственном водоснабжении.

Из построенных ранее и находящихся в эксплуатации стальных башен можно назвать два наиболее часто применявшихся типа: 1) башня со стальным цилиндрическим баком с плоским днищем, установленным на стальных наклонных колоннах (рис. VI.8); 2) башня системы В. Г. Шухова (рис. VI.9). Ствол башни представляет собой решетчатую пространственную конструкцию, имеющую форму однополостного гиперболоида; прямоугольные образующие, выполненные из стальных уголков, перехватываются горизонтальными поясами.

Исключительно широкое распространение получили стальные башни в США. Большое многообразие форм и конструкций таких башен можно разбить на четыре основных типа:

- 1) цилиндрический бак с полусферическим днищем (и обычно с конической крышей), опирающийся на колонны;
- 2) бак с полуэллипсоидальным днищем и эллипсоидальной (иногда конической) крышей, опирающийся при помощи опорного кольца на систему колонн (рис. VI.10, а);
- 3) бак с радиально-коническим днищем, которое покоится на системе балок, опирающихся на центральную шахту и систему колонн; секторы днища между балками имеют подобие конических поверхностей и приварены к балкам и стенкам бака;
- 4) бак с торроидальным днищем (комбинация эллипсоидального днища с плоским), опирающийся на два пояса колонн и центральную шахту или трубу (рис. VI.10, б); используется для весьма больших емкостей (до 12—15 тыс. м³); отдельные башни этого типа имеют баки еще большей емкости.

Кроме того, применяются баки сферической, грушевидной формы и др.

Шатровые американские башни, как правило, не имеют.

Для поддерживающих конструкций башен описанных типов кроме стали различных профилей широко применяют стальные элементы трубчатой формы, связываемые вантовыми затяжками.

§ 138. КИРПИЧНЫЕ И ДЕРЕВЯННЫЕ ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ

Эти башни имеют значительно меньшее применение в современной мировой практике по сравнению с железобетонными и стальными.

Кирпичные башни со стальными баками с плоским (иногда с выпуклым сферическим) днищем имели в прошлые годы значительное распространение, особенно в железнодорожном водоснабжении. Сохранились старые кирпичные башни также в ряде городов и производственных предприятий.

Кирпичные башни строят там, где по местным условиям применение кирпича оказывается экономичнее, чем применение железобетона. Обычно это имеет место при относительно небольшой высоте башни.

На кирпичных башнях устанавливают металлические баки с плоским днищем и иногда железобетонные баки.

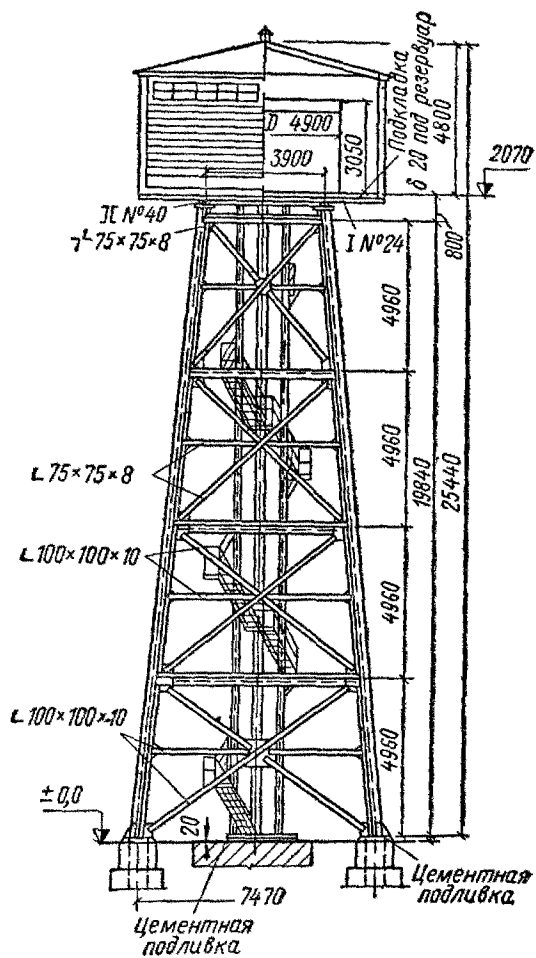


Рис VI 8

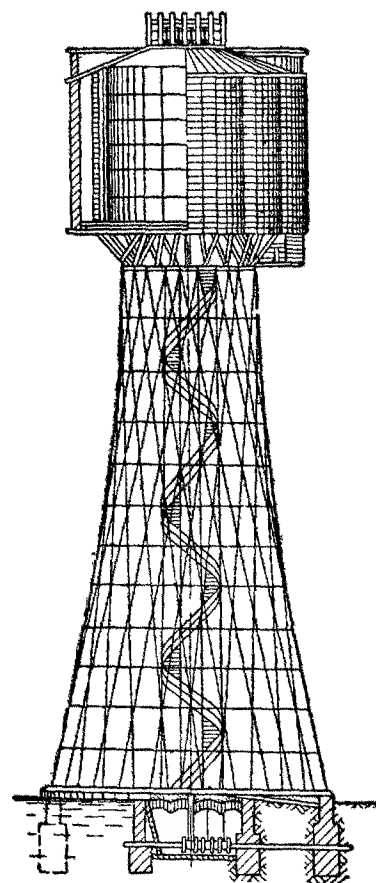


Рис VI 9

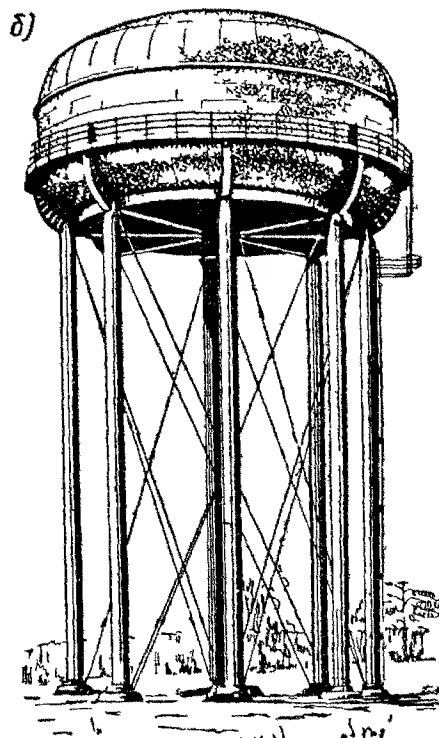
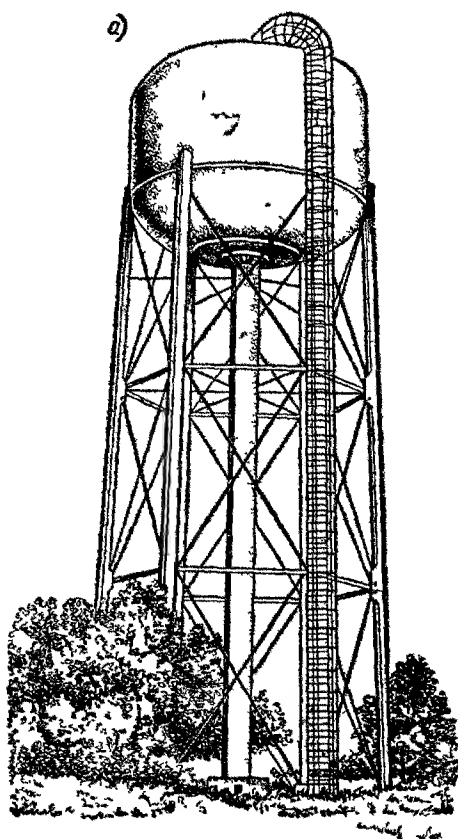


Рис. VI.10

Деревянные водонапорные башни находят применение во временных водопроводах, а также в небольших водопроводах колхозов и совхозов (в местах, богатых лесом). Эти башни можно применять лишь при небольших требуемых высоте и емкости. На деревянных башнях устанавливают стальные баки с плоским днищем.

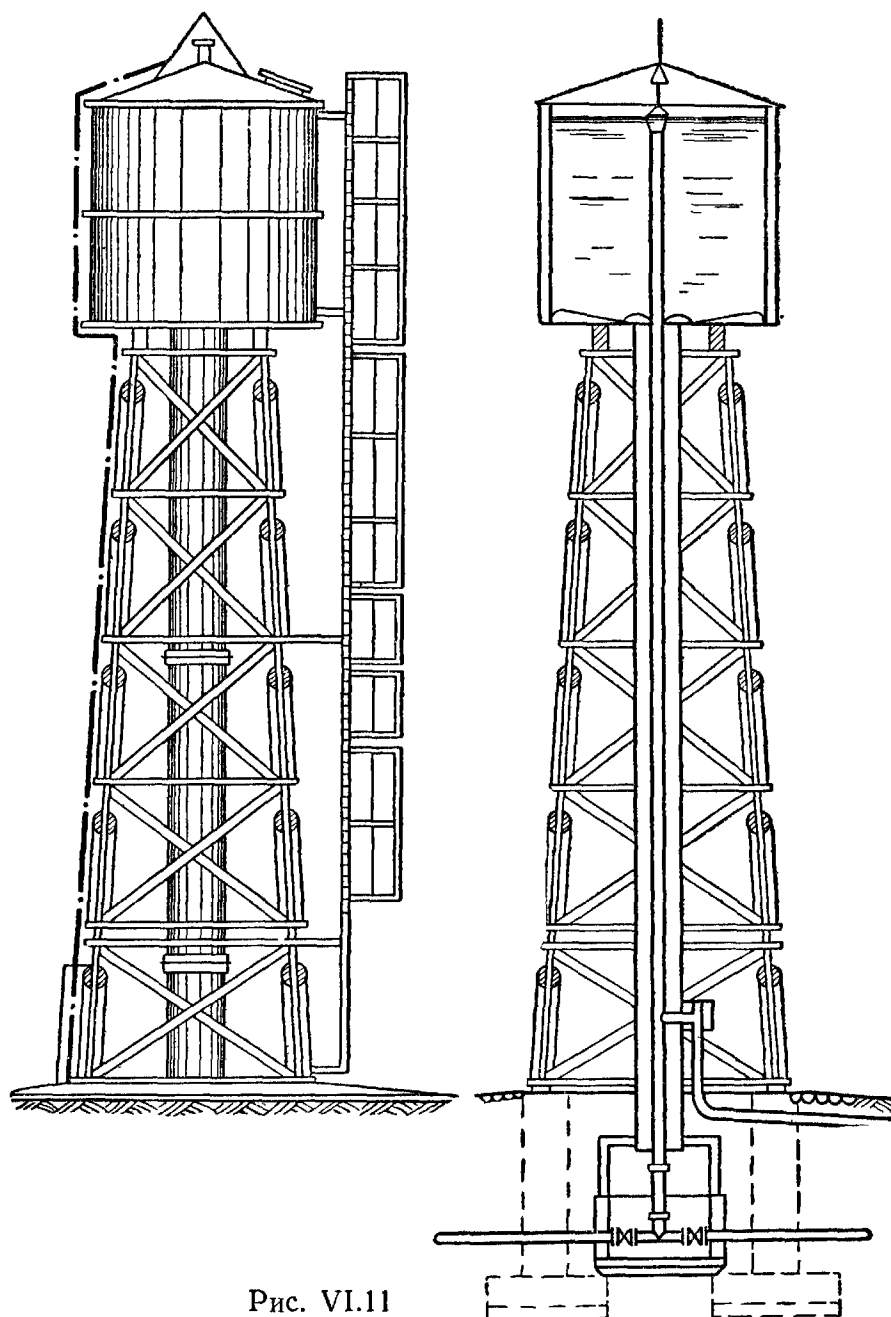


Рис. VI.11

На рис. VI.11 показана конструкция деревянной водонапорной башни по одному из типовых проектов Гипросельхоза.

В целях увеличения срока службы и предохранения от пожара отдельные детали деревянных башен пропитывают антисептическими растворами и покрывают огнестойкими красками.

§ 139. ВОДОНАПОРНЫЕ КОЛОННЫ

Водонапорная колонна представляет собой резервуар, установленный на поверхности земли и имеющий высоту, соответствующую требуемой высоте водонапорной башни. При нормальном режиме работы водопровода может быть использована лишь верхняя часть объема колон-

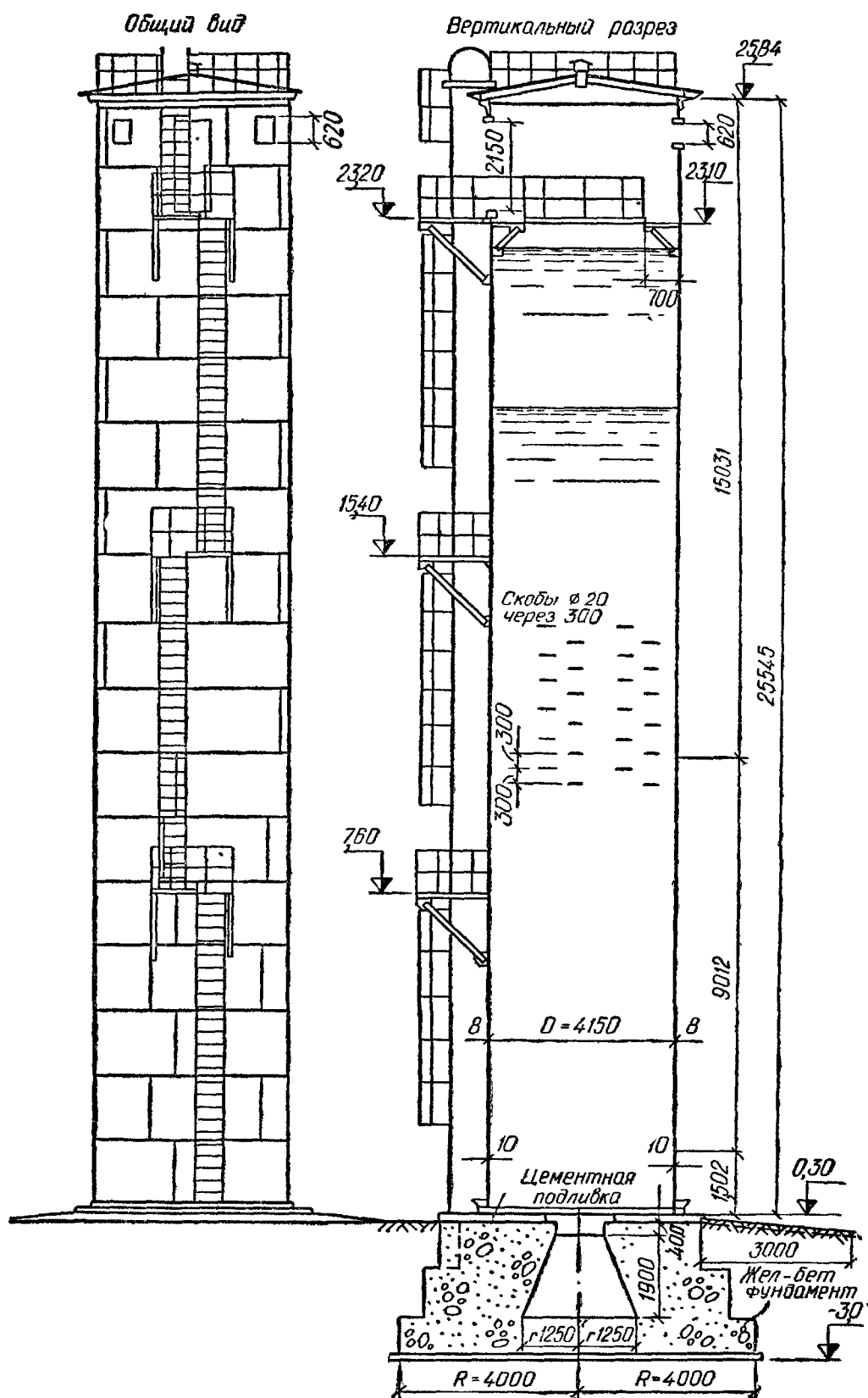


Рис. VI.12

ны, расположенная на высоте, соответствующей требуемым свободным напорам в водопроводной сети. Нижняя часть объема колонны служит для хранения аварийного запаса воды.

Водонапорные колонны целесообразно применять в тех случаях, когда при использовании аварийного запаса (т. е. при аварийном режиме работы водопровода) допускается значительное снижение требуемых напоров. Это, в частности, имеет место в системах производственного водоснабжения металлургических заводов. Здесь при аварийном режиме требуется обеспечивать подачу воды к наиболее ответственным холодильникам, что позволяет значительно снизить напор по сравнению с требуемым в условиях нормальной эксплуатации. Указанное обстоятельство и обусловило применение водонапорных колонн в системах водоснабжения металлургических заводов.

Водонапорные колонны в нашей стране и за рубежом (в частности, в США, где они имеют большое распространение) выполняют преимущественно из стали. Имеются примеры устройства железобетонных водонапорных колонн.

На рис. VI.12 приведен пример стальной водонапорной колонны небольшой емкости (около 300 м³). Колонна опирается на железобетонный фундамент и имеет легкое деревянное перекрытие. Для доступа в верхнюю часть колонны служит наружная стальная лестница.

К недостаткам водонапорных колонн может быть отнесена возможность застоя воды в них и, следовательно, ухудшение качества воды. Однако это обстоятельство имеет существенное значение лишь в хозяйственно-питьевых водопроводах.

Глава 27

РЕЗЕРВУАРЫ

§ 140. ТИПЫ РЕЗЕРВУАРОВ

Как было сказано ранее, резервуары, располагаемые на достаточно высоких отметках местности, могут служить напорными (активными) емкостями, аналогичными по своему назначению водонапорным башням. Так как при одной и той же емкости резервуар всегда значительно дешевле башни, напорные емкости следует устраивать в виде «нагорных» резервуаров везде, где это позволяет рельеф местности. Напорные резервуары наиболее часто используются в системах водоснабжения как регулирующие емкости, но нередко служат одновременно и для хранения запасов воды — пожарных или аварийных.

Вторым типом резервуаров являются безнапорные (пассивные), т. е. такие, из которых вода может поступать в систему лишь путем перекачки ее насосами. Такие резервуары используют весьма часто как регулирующие емкости при очистных сооружениях городских водопроводов (резервуары чистой воды), а также в качестве запасных емкостей (пожарных и аварийных).

Назначение резервуаров в системе отражается в основном на схеме их оборудования трубами и арматурой, а не на их конструкции.

Конструктивное оформление резервуаров весьма разнообразно. В более старых системах водоснабжения строились (и до сего времени работают) кирпичные¹ резервуары, а также резервуары из бутового кам-

¹ При строительстве первой очереди московского водопровода были сооружены кирпичные резервуары на Ленинских горах (Воробьевские резервуары), емкость которых к 1912 г. составила 160 тыс. м³.

ня. В современных системах водоснабжения преимущественное распространение получили железобетонные резервуары самых различных форм, конструкций и методов изготовления. Стальные резервуары, устраиваемые наподобие нефтяных цистерн, имеют некоторое применение главным образом в США. Они рассчитываются на различные емкости и строятся в виде вертикальных цилиндров различного диаметра и высоты, иногда с железобетонным или бетонным днищем. Трудность и большая стоимость защиты стальных резервуаров от коррозии, а также их термической изоляции являются существенным препятствием к их широкому применению.

Заслуживают внимания резервуары, выполняемые в виде копанных в земле водоемов (с различного рода одеждой), используемых в качестве запасных емкостей. Эти водоемы строят обычно открытыми.

В соответствии с требованиями строительных норм пожарный запас воды, превышающий 1000 м^3 , должен быть разделен между двумя резервуарами. В крупных установках (независимо от сказанного) устраивают несколько резервуаров, дающих в сумме расчетную емкость. Это обеспечивает бесперебойность работы системы, возможность выключения на ремонт отдельных резервуаров, а также выполнение строительства по очередям.

§ 141. ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

Железобетонные резервуары в настоящее время получили наиболее широкое распространение в мировой практике водопроводного строительства. Формы и конструкции железобетонных резервуаров весьма разнообразны.

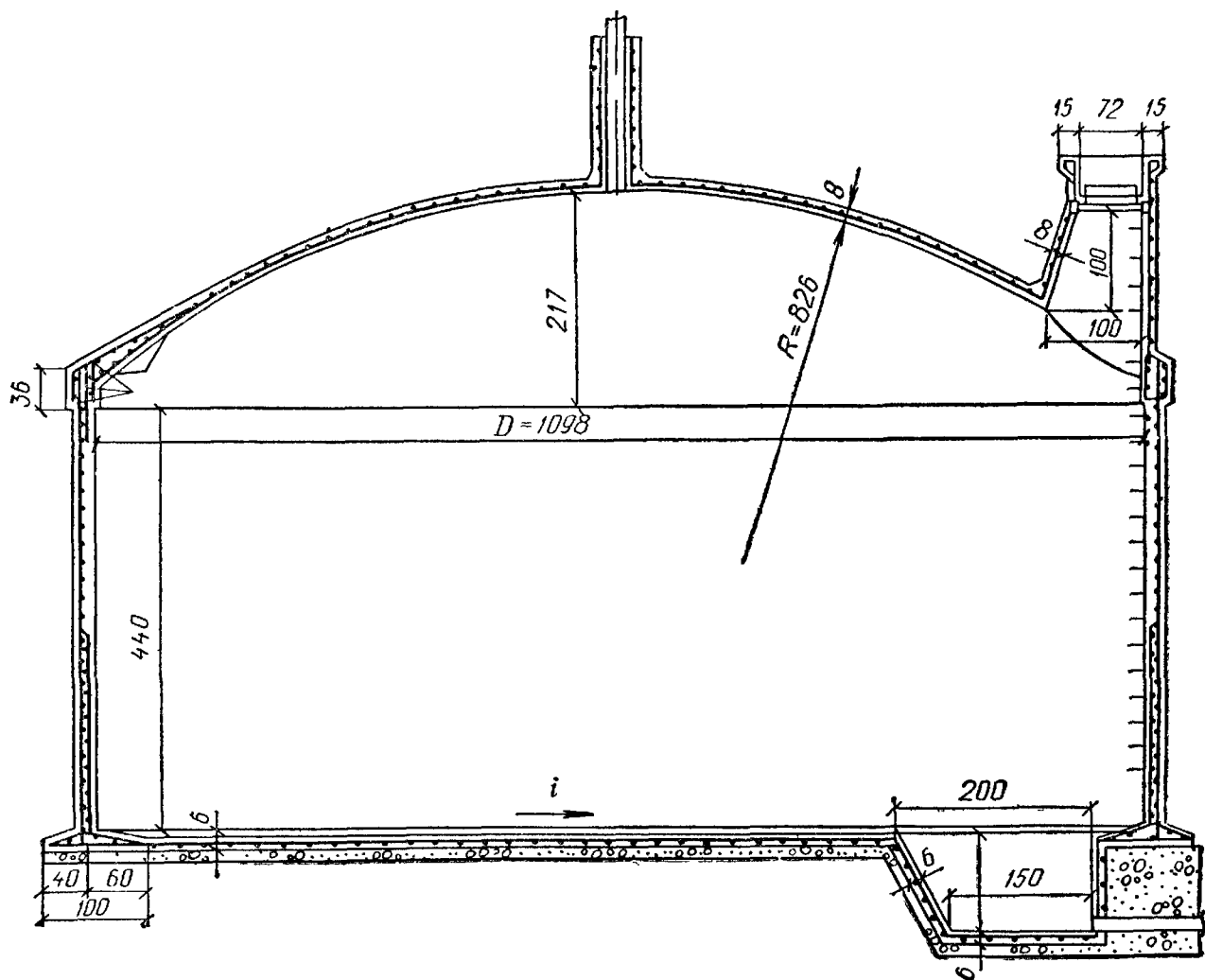


Рис. VI.13

Большое распространение имели резервуары цилиндрической формы с купольными перекрытиями. У нас эти резервуары рекомендовались для относительно небольших емкостей (до 600 м^3). Устройство такого резервуара емкостью 400 м^3 (по одному из типовых проектов) показано на рис. VI.13. Резервуар этого типа заглубляют в землю примерно до половины высоты цилиндрической части с обсыпкой в целях теплоизоляции верхней части и перекрытия землей толщиной около 1 м. Дно резервуара имеет некоторый уклон к приямку. В последнем располагают концы приемных труб (на рис. VI.13 не показаны) с таким расчетом, чтобы могла быть использована вся емкость резервуара. Кроме того, через приямок может быть осуществлено удаление осадков, которые постепенно накапливаются в резервуаре. При емкости более 600 м^3 эти резервуары рекомендовалось устраивать с плоским перекрытием.

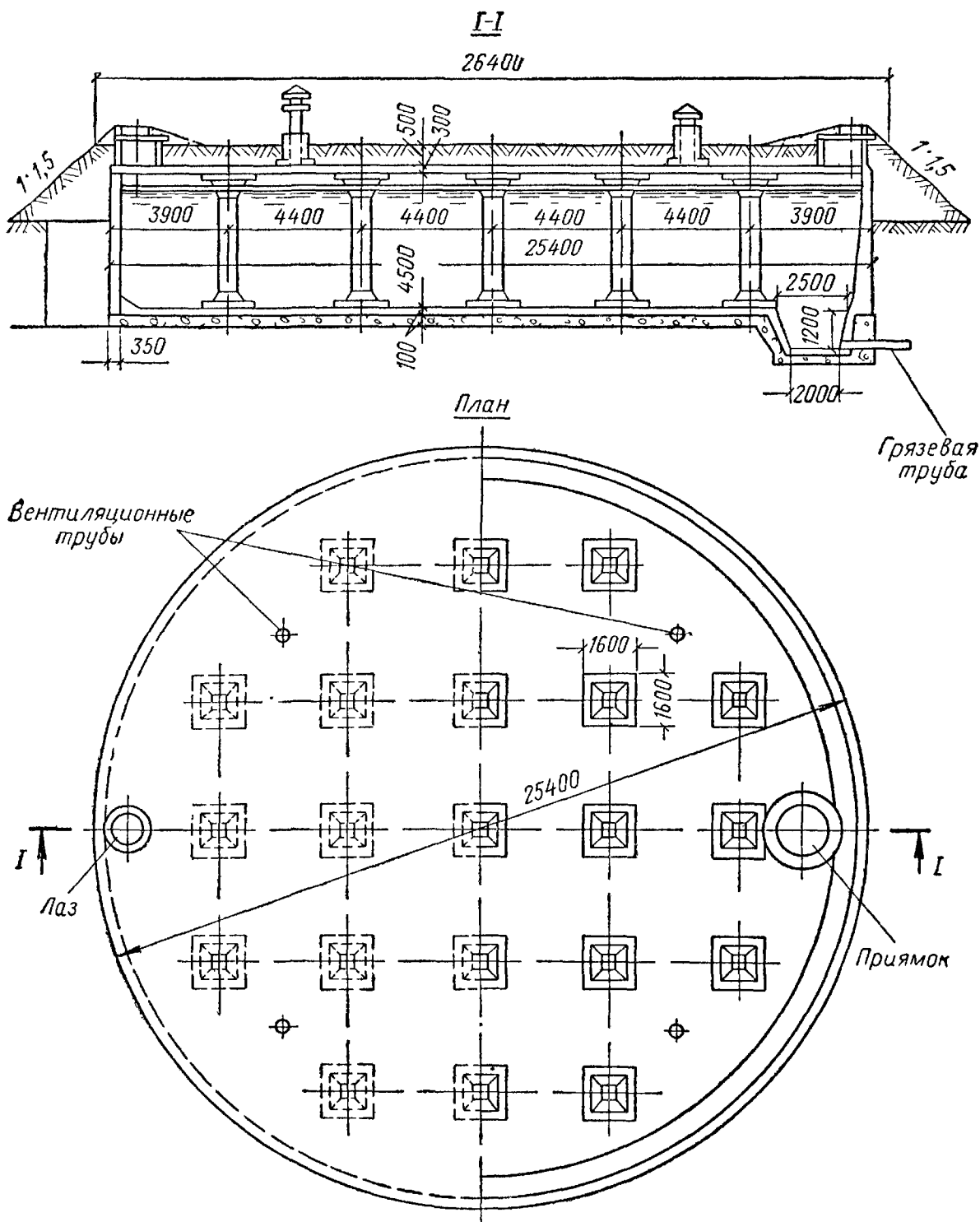


Рис. VI 14

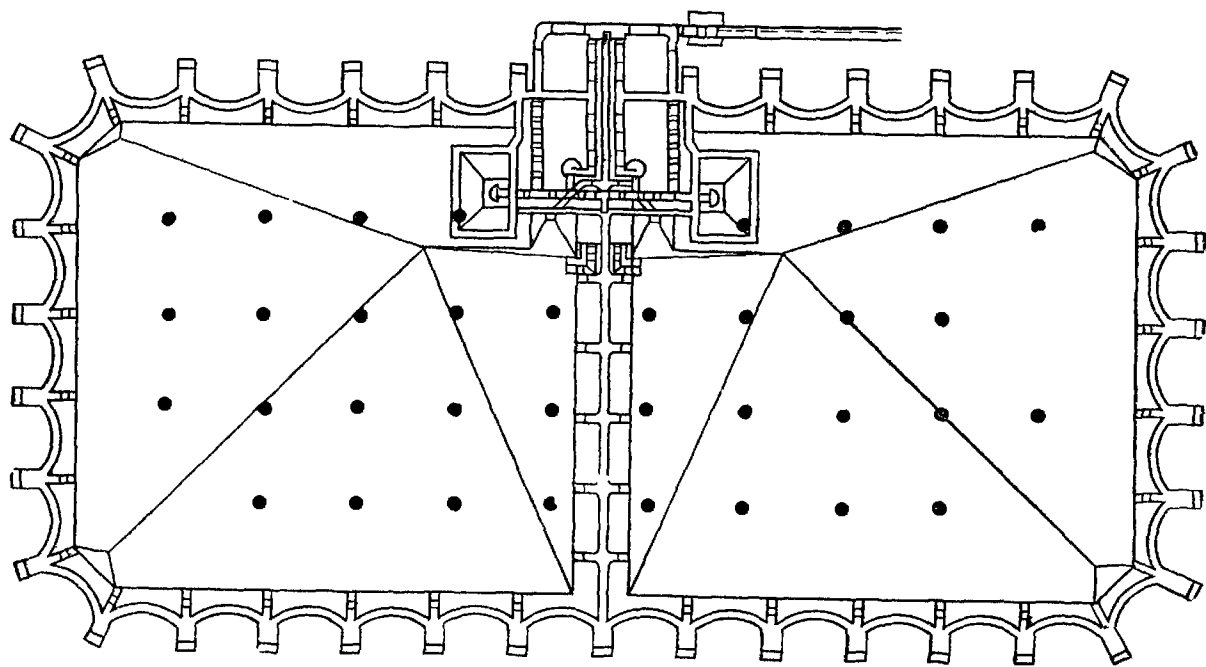


Рис VI.15

В последнее время считается более экономичным устройство плоского безбалочного перекрытия для цилиндрических резервуаров всех размеров. Устройство типового резервуара с плоским перекрытием показано на рис. VI.14. Такие резервуары имеют емкость от 50 до 2000 м³, диаметр от 4,7 до 25,4 м и высоту от 3,5 до 4,5 м. Перекрытие (при емкости более 50 м³) поддерживается колоннами (от одной колонны при емкости резервуара 100 м³ до 21 колонны при емкости 2000 м³). При емкости более 2000 м³ считается более экономичным применение резервуаров прямоугольной в плане формы с плоскими балочными или безбалочными перекрытиями.

Стремясь найти более экономичные конструкции резервуаров, им придают в мировой практике весьма разнообразные конструктивные формы. Так, в одном из построенных в Швеции в последние годы резервуаров (рис. VI.15) стенки имеют «многоарочную» конструкцию, позволяющую хорошо воспринимать усадочные и температурные напряжения. Аналогичная конструкция принимается для резервуаров круглой в плане формы — в виде многоволновой цилиндрической оболочки. Находят также применение прямоугольные в плане резервуары с перекрытием в виде цилиндрических сводов.

В современной практике строительства резервуаров с большим успехом используют предварительно напряженный железобетон. Основным недостатком обычного железобетона является то, что он, обладая достаточной прочностью, не обеспечивает требуемой герметичности резервуаров. Наличие арматуры не допускает образования значительных трещин в бетоне, но не может воспрепятствовать образованию волосных трещин, ведущих к нарушению герметичности. Предварительное напряжение бетона создает в нем сжимающие усилия, что обеспечивает герметичность резервуаров при любых эксплуатационных нагрузках на сооружения. Кроме того, применение предварительно напряженного железобетона дает экономию в затрате материалов. Резервуары из преднапряженного железобетона были запроектированы и построены в ряде стран.

Наиболее подходящими для применения предварительно напряженного железобетона являются цилиндрические резервуары. Предварительное

тельно напряженный бетон применяют и при устройстве резервуаров прямоугольной формы в плане

В строительстве резервуаров все большее применение находит сборный железобетон. В качестве готовых деталей используются колонны, балки, плиты, а также панели различных конструкций, составляющие стенки резервуаров.

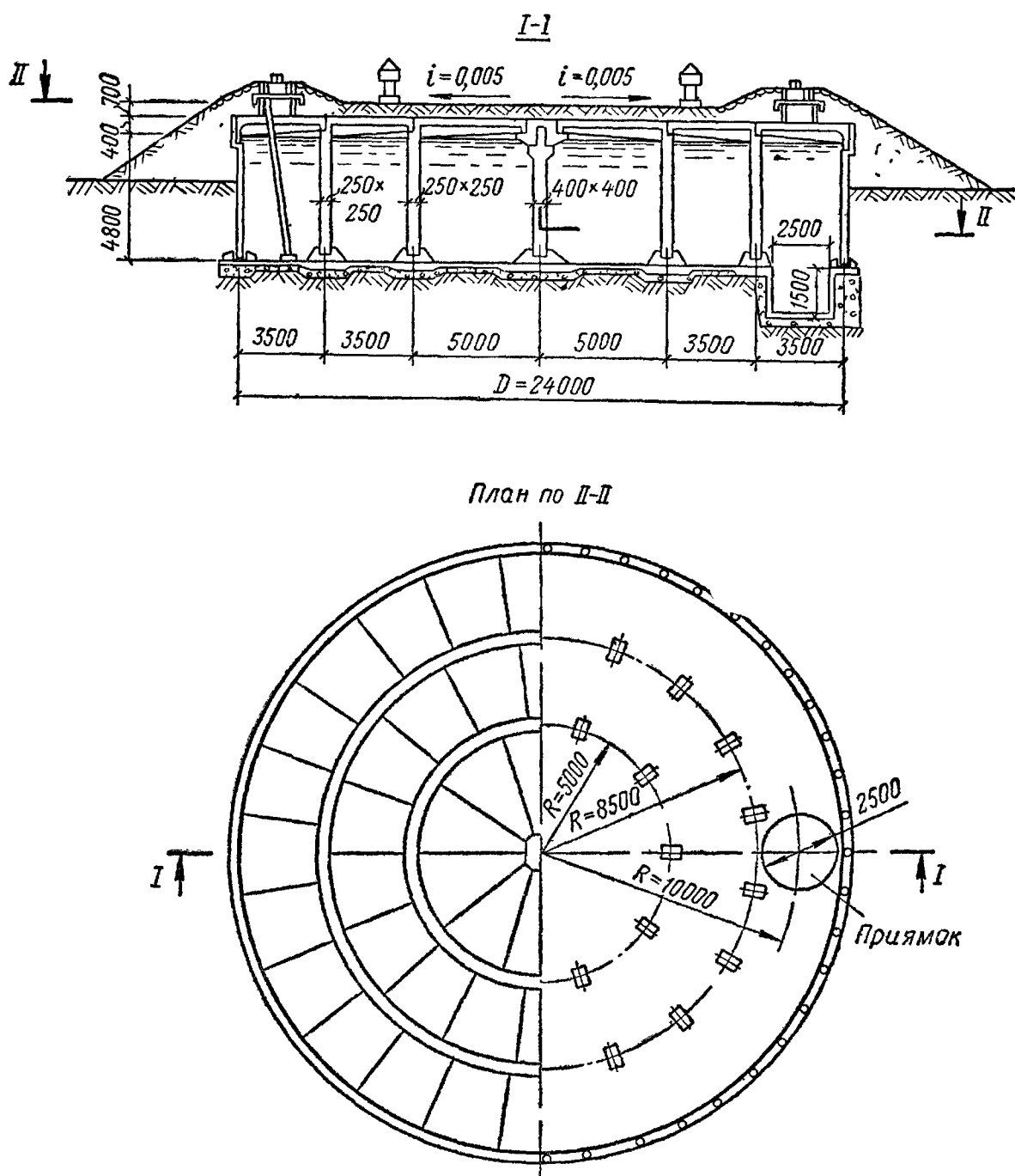


Рис VI 16

На рис. VI 16 показана конструкция типового сборного железобетонного резервуара. Этот резервуар запроектирован на те же емкости, что и типовой резервуар из монолитного железобетона, т.е. от 50 до 2000 м³. Резервуар имеет плоское днище из монолитного железобетона. Стенки его монтируются из ребристых панелей размером 0,8×3,5 м и толщиной 6 см при емкости резервуара до 500 м³ и размером 1,3×4,5 м и толщиной 12 см при емкости резервуара 600 м³ и более. Панели соединяются путем сварки выпущенных из них стальных листов. Перекрытие резервуара собирается из плоских радиальных плит треугольной

или трапецеидальной формы, опирающихся на стенку резервуара и центральную колонну (для малых резервуаров) или систему концентрически расположенных рядов колонн. В последнем случае по колоннам под плиты укладывается кольцевая балка. На рис. VI.16 показан резервуар емкостью 2000 м³.

В последних типовых проектах резервуаров предусматривается изготовление их из унифицированных элементов (колонн, панелей стен и плит перекрытий), пригодных для резервуаров нескольких различных емкостей.

§ 142. ОБОРУДОВАНИЕ РЕЗЕРВУАРОВ

Схема коммуникаций, присоединяемых к резервуару, и оборудование резервуара трубами и арматурой зависят от его назначения и места расположения в системе водоснабжения.

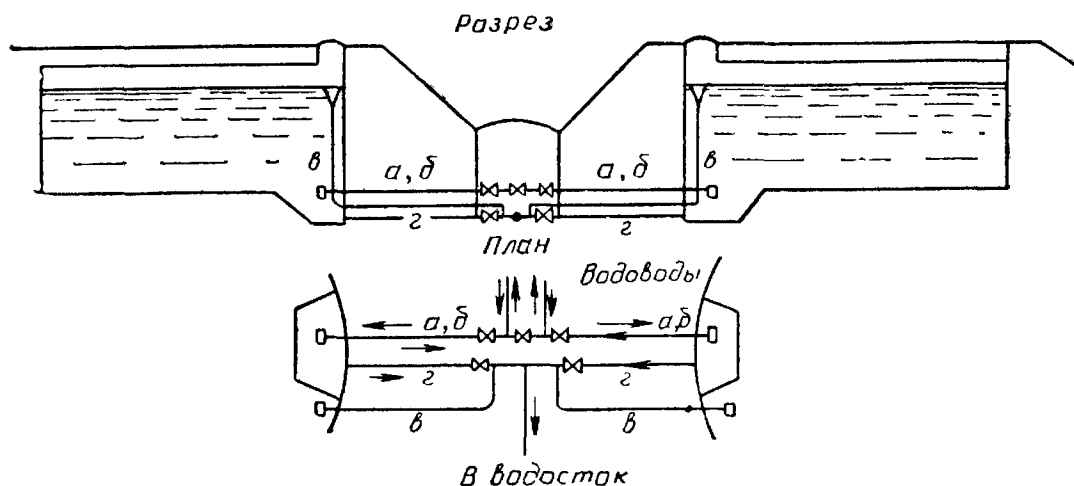


Рис. VI.17

В целях обеспечения бесперебойной работы системы водоснабжения обычно устраивают не менее двух резервуаров (или двух изолированных отделений), хотя это и усложняет схему коммуникаций.

Когда резервуар является напорно-регулирующей емкостью, его оборудование трубами и арматурой аналогично оборудованию водонапорных башен.

На рис. VI.17 схематически показано оборудование двух напорных резервуаров, расположенных в противоположном от насосной станции конце сети (контррезервуары). Между резервуарами устроен колодец для возможности управления задвижками и осуществления различных комбинаций и переключений между резервуарами и водоводами. Резервуары оборудованы следующими трубами: подающе-отводящей линией *а, б*, оканчивающейся в прямке на высоте, которая обеспечивает возможность использования всей емкости резервуара; переливной трубой *в*, предотвращающей переполнение резервуара, она присоединена к водосток; спускной (грязевой) трубой *г*, идущей от низа прямка и присоединяемой через задвижку к переливной трубе. Спускная труба позволяет удалять из прямка накапливающийся со временем ил, а также (в случае необходимости) полностью опорожнять резервуар. Недостатком приведенной схемы присоединений является то, что она не обеспечивает надлежащей циркуляции воды в резервуаре и ее освежения, что может привести к ухудшению ее качества (при относительно малом обмене).

На рис. VI.18 дана иная схема присоединения резервуара к водоводу, где (подобно тому, как это делается иногда в водонапорных баш-

нях) подающая труба устраивается отдельно от отводящей и заканчивается у верхнего уровня воды в противоположной от места забора воды стороне резервуара (труба a). Отвод воды осуществляется по трубе b , оканчивающейся в приемке и присоединяемой к водоводу через обратный клапан. Такая система позволяет производить постоянное освежение воды в резервуаре, хотя и вызывает необходимость подавать воду все время под напором, соответствующим отметке верха подающей трубы. Переливная труба v и спускная труба z расположены так же, как и в предыдущей схеме.

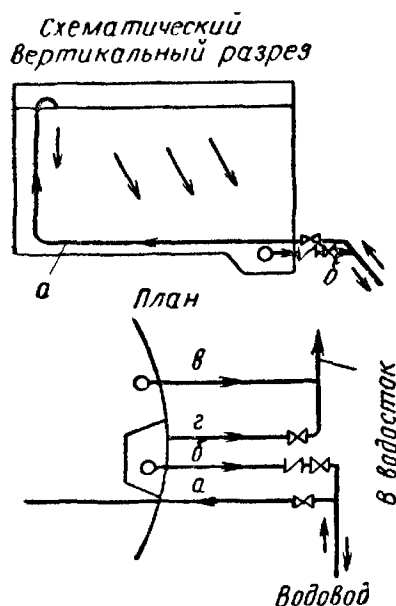


Рис. VI.18

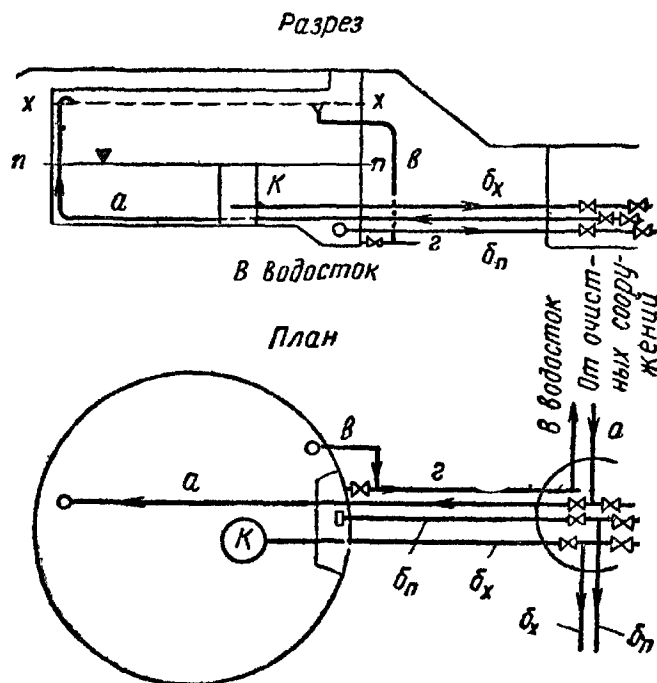


Рис. VI.19

Если напорные резервуары располагаются перед сетью, то схема коммуникаций отличается от приведенной выше только тем, что резервуары присоединяются к водоводам при помощи ответвлений.

На рис. VI.19 показана схема коммуникаций для резервуара, расположенного при очистной станции (так называемого резервуара чистой воды). Полная емкость резервуара разделяется на регулирующую (от уровня x до уровня n) и запасную — пожарную (от уровня n до дна). Вода подается от очистных сооружений по трубе a , оканчивающейся у верхнего уровня воды в удаленной от места забора воды стороне резервуара. Всасывающие трубы пожарных насосов b_n оканчиваются на отметке дна резервуара и могут израсходовать весь пожарный запас. Всасывающие трубы хозяйственных насосов b_x оканчиваются на уровне n и таким образом не могут (в случае недосмотра обслуживающего персонала) забирать воду, находящуюся ниже этого уровня, т. е. через них не может быть израсходован пожарный запас. С той же целью эти трубы могут быть введены у дна резервуара, но их концы помещены в открытый цилиндрический колодец K , верхняя кромка которого совпадает с уровнем n (такое решение приведено на схеме рис. VI.19). Переливная труба v и спускная труба z располагаются так же, как и в предыдущих схемах.

Глава 28

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ВОДОНАПОРНЫЕ УСТАНОВКИ

Существуют две принципиально различные системы пневматических установок — переменного давления и постоянного давления.

§ 143. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ
ПЕРЕМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Пневматическая водонапорно-регулирующая установка переменного давления, заменяющая по своему назначению водонапорную башню, показана схематически на рис. VI.20. Два герметически закрытых сталь-

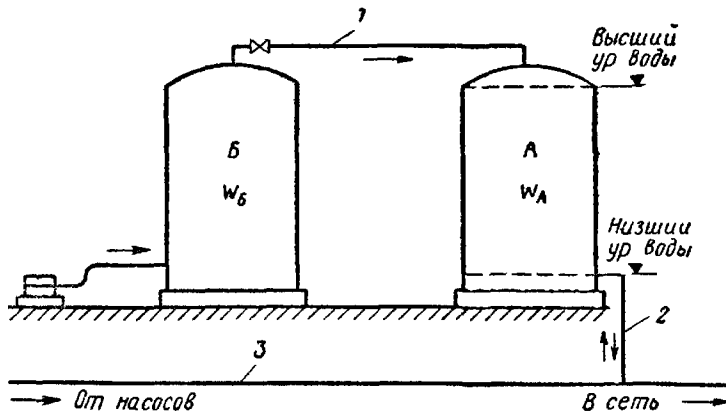


Рис VI 20

ных резервуара (или котла) А и Б соединены трубой 1. Котел А при помощи трубы 2 присоединяется к водоводу 3, подающему воду от насосной станции в водопроводную сеть. В те часы, когда подача насосов превышает потребление воды городом, избыточно подаваемое количество воды автоматически поступает по ответвлению 2 в котел А. Поступая в котел А, вода сжимает находящийся в нем воздух и перегоняет его постепенно в котел Б. Когда вода в котле А достигает наивысшего допустимого уровня, вход в трубу 1 закрывается автоматически действующим поплавковым клапаном; таким образом, вода из котла А не может поступать в котел Б. При полном наполнении котла А водой воздух в пневматической установке будет, очевидно, занимать наименьший объем W_B ; следовательно, давление в системе достигнет наибольшей величины $p_{\text{макс}}$. В часы, когда водопотребление будет превышать подачу воды насосами, вода по трубе 2 будет уходить из котла А; уровень воды в нем будет понижаться и давление в системе падать. Когда вода достигнет наинизшего допустимого уровня, другой автоматический поплавковый клапан закроет выход из котла А в трубу 2, чтобы предотвратить попадание воздуха в сеть. Очевидно, к этому моменту воздух будет занимать в системе наибольший возможный объем $(W_A + W_B)$ и соответственно этому установится наименьшее давление $p_{\text{мин}}$.

Регулирующая емкость, т. е. емкость «водяного» котла W_A , определяется теми же методами, что и емкость бака водонапорной башни (путем совмещения графиков подачи и потребления).

В отличие от обычной системы водоснабжения с башней в пневматической системе, как мы видим, изменение степени наполнения водяного резервуара сопровождается значительным изменением давления (от $p_{\text{мин}}$ до $p_{\text{макс}}$).

По условиям работы сети давление в ней не должно падать ниже

некоторого расчетного значения, соответствующего при «башенном» водоснабжении расчетной высоте расположения над землей низа бака башни H_6 . В пневматической системе этому значению будет соответствовать приведенная высота давления $p_{\min}$. При $p > p_{\min}$ пневматическая система будет работать под давлением выше требуемого. Это обстоятельство является основным органическим недостатком пневматических систем рассматриваемого типа, так как применение их требует (по сравнению с башенной системой) повышенных напоров на насосной станции, т. е. установки более мощных насосных агрегатов, вызывает перерасход электроэнергии при подаче воды и значительные колебания давлений во всей водопроводной сети.

При пневматических установках переменного давления насосы приходится подбирать исходя из условий работы в широком диапазоне колебаний напоров, вследствие чего насосы значительную часть времени работают при к. п. д., существенно отличающихся от оптимальных.

Для получения в системе требуемого давления, а также для периодического восполнения убыли воздуха (вследствие его утечки через неплотности, уноса с водой) обычно требуется установка компрессора 4 (см. рис. VI.20). Он работает всего один-два раза в неделю и короткие промежутки времени, поэтому расход энергии на его работу крайне незначителен.

Соотношение между емкостями водяного и воздушного котлов зависит от принятого при расчете диапазона колебаний давлений в системе. Если принять с известным приближением процесс изменения объема воздуха в системе изотермическим, можно, используя закон Бойля — Мариотта, написать соотношение

$$W_B P_{\max} = (W_A + W_B) P_{\min},$$

где W_B — наименьший объем, который может занимать воздух в системе, равный объему воздушного котла B ;
 W_A — объем водяного котла A ;
 $W_A + W_B$ — максимальный объем воздуха в системе, равный (с некоторым приближением) суммарному объему водяного и воздушного котлов;
 $P_{\max}$ и $P_{\min}$ — соответственно наибольшее и наименьшее возможные значения абсолютных давлений в системе.

Введя в это выражение вместо абсолютных давлений избыточные (в кгс/см²), получим

$$(p_{\max} + 1) W_B = (p_{\min} + 1) (W_A + W_B).$$

Отсюда

$$\frac{W_A + W_B}{W_B} = \frac{p_{\max} + 1}{p_{\min} + 1}.$$

Обозначив отношение абсолютного максимального давления к минимальному через ε , получим следующие основные соотношения между значениями давлений и объемов котлов в системе переменного давления:

$$P_{\max} = \varepsilon P_{\min}; \quad W_B = \frac{1}{\varepsilon - 1} W_A,$$

или, обозначив для упрощения $1/(\varepsilon - 1)$ через β :

$$W_B = \beta W_A.$$

Как сказано выше, значение $p_{\min}$ диктуется требованием обеспечения определенных напоров в сети, а значение W_A определяется в соответствии с принятыми режимами водопотребления и работы насосов; оба эти значения при расчете собственно пневматической установки являются фактически заданными.

Следовательно, основными расчетными величинами являются ϵ и β .

Нетрудно видеть, что значение ϵ может теоретически колебаться в пределах от 1 до ∞ ; при этом чем ближе ϵ к единице, тем меньше диапазон колебаний давлений и избыточный напор, создаваемый насосами, а также перерасход энергии при эксплуатации установки.

Одновременно с уменьшением ϵ возрастает значение β (рис. VI.21), т. е. возрастает емкость воздушного котла W_B (при заданной величине W_A) и, следовательно, увеличивается строительная стоимость установки.

На основании технико-экономической оценки влияния значения ϵ на стоимость строительства и эксплуатации пневматических установок могут быть определены наивыгоднейшие значения ϵ . Они будут зависеть от ряда экономических факторов и, в частности, от стоимости электроэнергии. На основании опыта проектирования можно считать, что оптимальное значение ϵ лежит примерно в пределах 1,33—2, чему соответствуют значения β от 3 до 1.

Таким образом, экономически оправданная емкость воздушного котла (котлов) может превышать емкость водяного котла обычно не более чем в 3 раза.

Если в водяном котле хранится также пожарный или аварийный запас воды, то он должен быть учтен при определении требуемой емкости котлов для обеспечения требуемых давлений. Значения давлений должны быть проверены также на случай сработки пожарного или аварийного запаса.

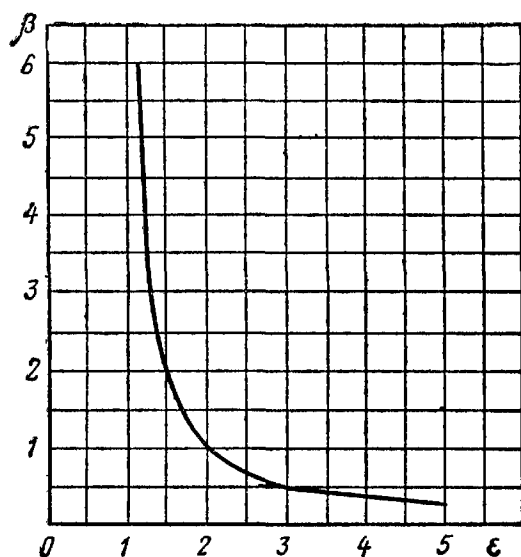


Рис. VI.21

§ 144. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ

В пневматических установках постоянного давления на трубе, соединяющей воздушный котел с водяным, ставят редукционный клапан. Этот клапан при понижении уровня воды в водяном котле пропускает в него воздух под постоянным заданным давлением. При подъеме уровня воды в водяном котле воздух из него выпускается через специальный предохранительный клапан, также отрегулированный на заданное давление. Таким образом, в водяном котле может поддерживаться постоянное давление, что обеспечивает возможность надлежащего подбора насосов и их работы при оптимальных значениях к. п. д.

Пневматические установки постоянного давления требуют непрерывной работы компрессора для восполнения сбросов воздуха при каждом наполнении водяного котла. Дополнительный расход энергии на работу компрессора в установках постоянного давления обычно превышает перерасход энергии, затрачиваемой на работу насосов под избы-

точными напорами в установках переменного давления. Установки постоянного давления менее экономичны и используются в тех случаях (относительно редких), когда колебание напора в сети не может быть допущено, например в некоторых системах производственного водоснабжения, где изменение напора воды вызывает недопустимые колебания расходов.

§ 145. КОНСТРУКТИВНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Пневматические установки (имеются в виду установки переменного давления) имеют различное конструктивное оформление.

Как водяные, так и воздушные котлы пневматических установок представляют собой сварные стальные цилиндры со стальными эллип-

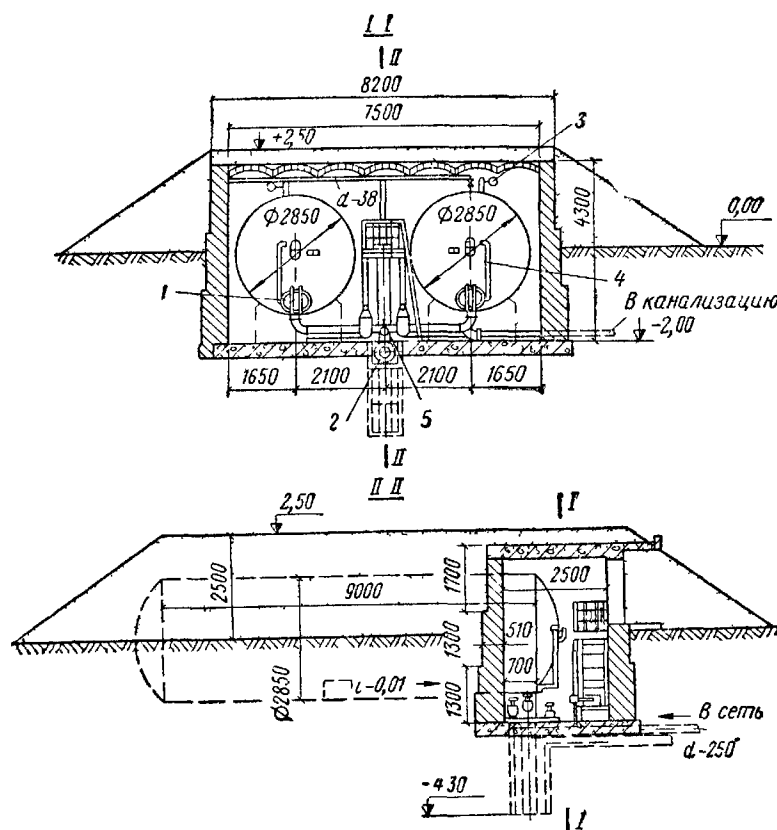


Рис VI 22

1 — люк (400×300 мм), 2 — подводящая и разводящая труба диаметром 250 мм, 3 — предохранительный клапан на 8 кгс/см², 4 — водомерное стекло, 5 — поплавковый предохранительный клапан

соидальными днищами. Применяют как вертикальное, так и горизонтальное расположение котлов. Диаметр их обычно не превышает 3 м. Как следует из сказанного выше, число воздушных котлов обычно больше числа водяных.

Пневматические котлы и компрессор устанавливают иногда в специальном здании, а иногда в общем здании с насосной станцией.

В. И. Павловым была предложена весьма удобная схема установки с горизонтальными котлами, расположенными под землей. Такая установка, состоящая из двух котлов, представлена на рис. VI 22. Величину заглубления котлов принимают из такого расчета, чтобы объем вынутого грунта был равен объему земли для засыпки, т. е. чтобы объем земляных работ был минимальным. В целях облегчения веса засыпки для нее

целесообразно применять легкие и малотеплопроводные материалы (сухой торф, инфузорную землю, шлак и т. п.).

Пневматические установки и в нашей, и в зарубежной практике не получили широкого распространения. По строительной стоимости и по эксплуатационным расходам они в большинстве случаев менее выгодны, чем башни, и в этом отношении могут конкурировать с башнями лишь при относительно малом водопотреблении и значительных расчетных напорах.

Следует отметить, что автоматизация работы пневматических установок может значительно расширить пределы их применения, так как позволяет значительно снизить расход энергии благодаря последовательному пуску и выключению насосов через относительно короткие периоды времени.

Автоматизированные пневматические установки имеют некоторое применение в малых поселковых водопроводах (в частности в системах сельскохозяйственного водоснабжения).

В НИИ сантехники разработаны и в настоящее время изготавливаются промышленностью автоматические водоподъемные установки с одним водовоздушным баком. Установки комплектуются с погружными, центробежными (вихревыми) или водоструйными насосами. Пополнение воздуха производится бескомпрессорным способом при помощи специальных автоматически действующих приспособлений. Производительность установок до 15 м³/ч. Частота включений в зависимости от мощности и типа электродвигателя насоса 6—12 в 1 ч.

Глава 29

**СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ВОДЫ НА НУЖДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Обеспечение водой промышленных предприятий является одной из важных народнохозяйственных задач. В подавляющем большинстве отраслей промышленности вода используется в технологических процессах производства. Требования к количеству и качеству подаваемой воды определяются характером технологического процесса. Выполнение этих требований системой водоснабжения обеспечивает нормальную работу предприятия и надлежащее качество выпускаемой продукции. Неудовлетворительное выполнение системой водоснабжения поставленных задач может привести не только к ухудшению качества продукции или удорожанию производства, но и в ряде случаев к порче оборудования и даже к опасным авариям.

Кроме воды для технологических нужд, на каждом предприятии требуется вода для хозяйственно-питьевых нужд рабочих и служащих, а также для целей пожаротушения.

В настоящей главе рассматриваются основные отличительные особенности использования воды на нужды производства и дается краткое ознакомление с некоторыми системами и сооружениями, специфичными для водоснабжения промышленных предприятий.

**§ 146. ПОТРЕБЛЕНИЕ ВОДЫ
НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Как методы использования воды на нужды производства, так и определение требуемых для производства количеств и качеств воды всецело зависят от характера технологического процесса.

Вода используется в производстве для весьма разнообразных целей. В качестве основных категорий производственного водопотребления могут быть названы: использование воды для охлаждения, для промывки, замочки, увлажнения, для парообразования, для гидротранспорта, в составе производимой продукции и т. д. Использование воды для охлаждения имеет масштабы, значительно превосходящие масштабы всех остальных видов потребления воды, причем удельный вес этой категории в общем объеме производственного водоснабжения продолжает расти. К этой категории относятся расходование воды для конденсации пара, отходящего от паровых турбин электростанций, и использование воды для охлаждения различных печей, машин и аппаратуры (металлургическая, нефтеперерабатывающая, химическая промышленность и др.). Вода для промывки, замочки и т. п. расходуется в больших количествах на нужды бумажной, целлюлозной, шерстеобрабатывающей, текстильной промышленности, промышленности искусственного волокна и др. Расходование воды на гидротранспорт различных материалов имеет место в самых разнообразных отраслях промышленности (в том числе шлако- и золоудаление на теплосиловых станциях, транспортирование шлака в доменных цехах, отходов обогатительных фабрик и т. д.).

Требуемые для производственных целей количества воды опреде-

ляются в результате технологических расчетов, так же как и требуемые количества топлива, пара, электроэнергии и т. п., и в значительной степени зависят (изменяются) от принятой схемы технологического процесса, типа используемого оборудования и др.

Приводимые в литературе удельные нормы расхода воды на единицу продукции, полученные в результате обработки и осреднения фактических данных о расходовании воды промышленностью, могут использоваться лишь для приближенных предварительных расчетов по определению предполагаемых объемов производственного водопотребления.

Одной из специфических особенностей производственного водопотребления является зависимость в ряде случаев количества используемой воды от ее качества, в частности (и наиболее часто) от ее температуры. Так, вода, используемая для целей охлаждения, должна отводить от охлаждаемой среды (оборудования) определенное количество тепла (в единицу времени). Чем меньшую температуру имеет используемая вода, тем, очевидно, меньше ее потребуется для того же охлаждающего эффекта. Это обстоятельство обуславливает изменение расхода охлаждающей воды по сезонам года: зимой он меньше, чем летом.

Исключительно важное значение для многих отраслей промышленности имеет соблюдение требований относительно допустимого содержания в используемой воде различных веществ. Требования эти весьма различны для различных технологических процессов и в количественном и в качественном отношении.

Так, вода, используемая для охлаждения, должна не засорять трубки холодильников, не обладать коррозионными свойствами и (как уже сказано) иметь по возможности низкую температуру. Значительная жесткость охлаждающей воды также нежелательна из-за возможности интенсивного отложения солей на стенках холодильников.

Вода, используемая для промывочных целей, не должна содержать веществ, отрицательно влияющих на промываемый материал; нежелательно содержание в ней солей, вызывающих увеличение расхода моющих веществ. Для некоторых химических производств требуется удаление из воды различных солей, глубокое осветление воды, удаление из нее растворенных газов и т. п. Выполнение требований производства к качеству используемой воды обеспечивает повышение качества и удешевление продукции.

Следует отметить, что ряд современных производственных потребителей предъявляет к качеству используемой воды столь высокие требования, что им не может удовлетворять ни один природный источник водоснабжения. Эти требования могут быть выполнены только в результате искусственной обработки воды. К таким производственным потребителям относятся, например, современные паровые котлы высокого давления, промышленность полупроводников и др.

Режим расходования воды на производственные нужды определяется режимом работы промышленного предприятия и методами использования воды. В некоторых случаях (в частности, при использовании воды для охлаждения) расходование воды идет почти равномерно в течение суток. Иногда вода расходуется периодически для наполнения в заданное время различных баков, ванн и т. п.

Кроме изменения интенсивности расходования воды в течение суток, в ряде случаев для производственного водоснабжения необходимо учитывать отмеченные выше сезонные колебания водопотребления.

Требования отдельных производственных потребителей к свободным напорам на вводах весьма различны и зависят от типа используемого оборудования, высоты производственных зданий и т. п. В некото-

рых случаях для отдельных агрегатов, требующих подачи воды под повышенными напорами, представляется целесообразным устраивать местные повысительные установки. Недопустимое снижение давлений в водопроводной сети может повлечь за собой снижение расходов воды, подаваемой к охлаждающим установкам, их перегрев или порчу продукции.

Весьма важное значение имеет обеспечение достаточной надежности систем производственного водоснабжения. Ряд предприятий не допускает не только перерыва (даже кратковременного) в подаче воды, но и всякого снижения подачи. Нарушение установленного режима подачи воды может привести к серьезным авариям оборудования, причиняющим большой материальный ущерб и опасным для жизни людей; изменение режима подачи или изменение качества подаваемой воды может повлечь за собой ухудшение качества (брак) продукции или расстройство оборудования. Таким образом, обеспечение высокой надежности систем производственного водоснабжения необходимо и с социальной, и с экономической точки зрения.

§ 147. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Указанные выше требования производственных потребителей к обеспечению их водой (объемы водопотребления, требования к качеству воды и высокие требования к надежности) обуславливают особый подход к выбору источника и системы водоснабжения. Большая стоимость систем водоснабжения крупных промышленных предприятий вызывает необходимость весьма глубокого технико-экономического анализа возможных вариантов решения этой проблемы для выбора оптимального варианта.

Для некоторых крупных производственных объектов требуются столь большие расходы воды, что часто местных водных источников оказывается недостаточно. Между тем место расположения многих промышленных предприятий в значительной степени диктуется наличием источников сырья, месторождений полезных ископаемых, местного топлива и т. д. В подобных условиях приходится обращаться к использованию удаленных источников воды, достаточно мощных для удовлетворения потребностей предприятия. Транспортирование больших количеств воды на большие расстояния требует затрат весьма значительных средств на строительство и эксплуатацию соответствующих сооружений. Иногда возникает вопрос о том, где же выгоднее (экономичнее) располагать предприятие — ближе к источникам сырья (топлива) или ближе к источникам воды. В отношении ряда отраслей промышленности (горнорудной, металлургической и т. п.) вопрос решается в пользу расположения предприятия вблизи источников сырья. Однако в некоторых случаях, например при выборе места расположения тепловых электростанций, может оказаться экономически целесообразнее располагать их ближе к источникам воды, чем к источникам топлива. Сокращение дальности транспортирования воды к объекту всегда повышает, кроме того, надежность системы водоснабжения. Таким образом, самый выбор места расположения промышленного предприятия может зависеть от возможности его водообеспечения.

При выборе места расположения промышленного предприятия необходимо также учитывать возможное влияние его на местные природные водоемы. Сточные воды промышленных предприятий часто бывают сильно загрязнены, а иногда и токсичны. Надлежащая очистка больших

количеств сточных вод связана с весьма большими затратами. Сброс же сточных вод без достаточной очистки вызывает недопустимое загрязнение водоемов. Как уже было сказано, принятый в СССР закон об охране вод устанавливает очень строгие правила по предупреждению загрязнения природных водоемов сточными водами.

Как локальная недостаточность водных ресурсов, так и необходимость резкого уменьшения стоков обуславливают широкое применение в производстве оборотного водоснабжения и повторного использования воды. Сокращение расходов «свежей» воды приобретает не только экономическое, но и гигиеническое значение. Рационализация использования природной воды в производстве может в ряде случаев привести к созданию полностью замкнутых циклов водооборота, при которых практически требуются минимальные отборы свежей воды из источника.

В главе 3 была приведена принципиальная схема оборотного водоснабжения. В реальных условиях при наличии различных требований к качеству используемой воды и различного качества стоков, зависящих от состава цехов промышленного предприятия, системы оборотного водоснабжения модифицируются и усложняются. Так, на рис. VII.1, а показана схема оборотного водоснабжения при различном качестве сбросной воды в двух группах цехов, т. е. когда цехи одной группы не допу-

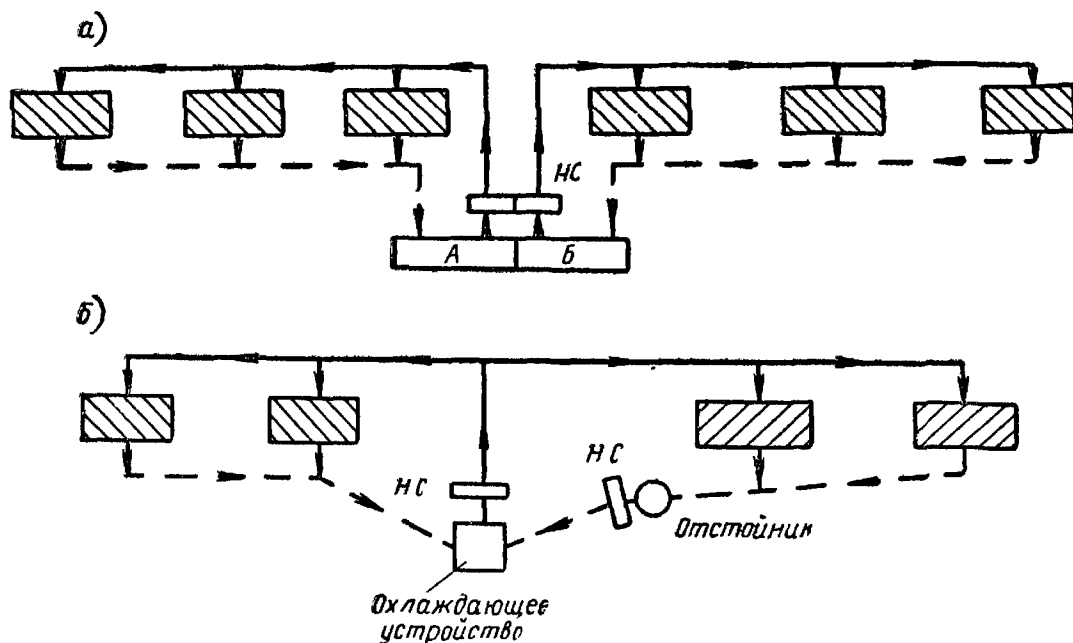


Рис. VII.1

скают использования воды, которую сбрасывают цехи другой группы. В этих условиях устраивают изолированные отсеки охлаждающих устройств А и Б, отдельные группы насосов на циркуляционной насосной станции и отдельные подающие водоводы для воды разного качества. На рис. VII.1, б показана схема оборотного водоснабжения, при которой цехи одной группы сбрасывают воду, требующую дополнительного осветления в отстойниках. После охлаждения вода подается в обе группы цехов единой системой труб.

В практике производственного водоснабжения получили широкое применение системы последовательного использования воды. Эти системы (рис. VII.2) устраивают, когда качество воды, сбрасываемой одним потребителем, допускает ее использование другими потребителями. Так, потребитель I сбрасывает воду нагретую, но не загрязненную. Она

может быть использована потребителями II. Если количество воды, сбрасываемой потребителем I, превышает потребность цехов II, ее избыток может поступать в общий сток.

В некоторых случаях вода из оборотного цикла одного потребителя A (рис. VII.3) после охлаждения частично используется для группы других потребителей B, т. е. имеет место комбинация оборотного водоснабжения и последовательного использования воды.

Системы последовательного использования воды позволяют значительно сократить подачу свежей воды из источника и снизить затраты на водоснабжение предприятия в целом.

На крупных предприятиях, занимающих весьма большую территорию, иногда оказывается рентабельным разделение системы их оборот-

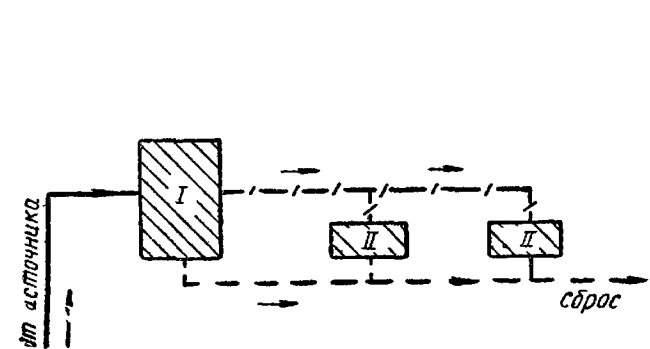


Рис. VII.2

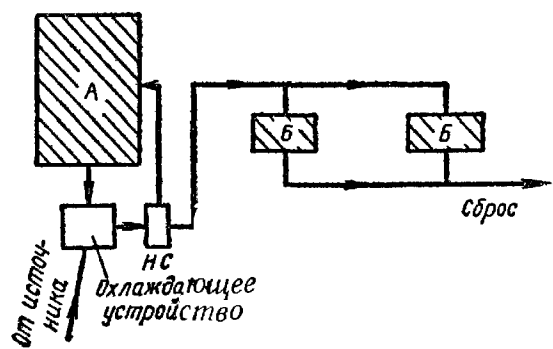


Рис. VII.3

ного водоснабжения на несколько отдельных систем — по группам цехов с устройством нескольких блоков охлаждающих сооружений 1 и насосных станций 2 (рис. VII.4). Такая децентрализация позволяет снизить затраты на сооружение водоводов и магистралей в пределах площадки, сократить суммарные расходы энергии на подачу воды и одновременно повысить надежность водоснабжения.

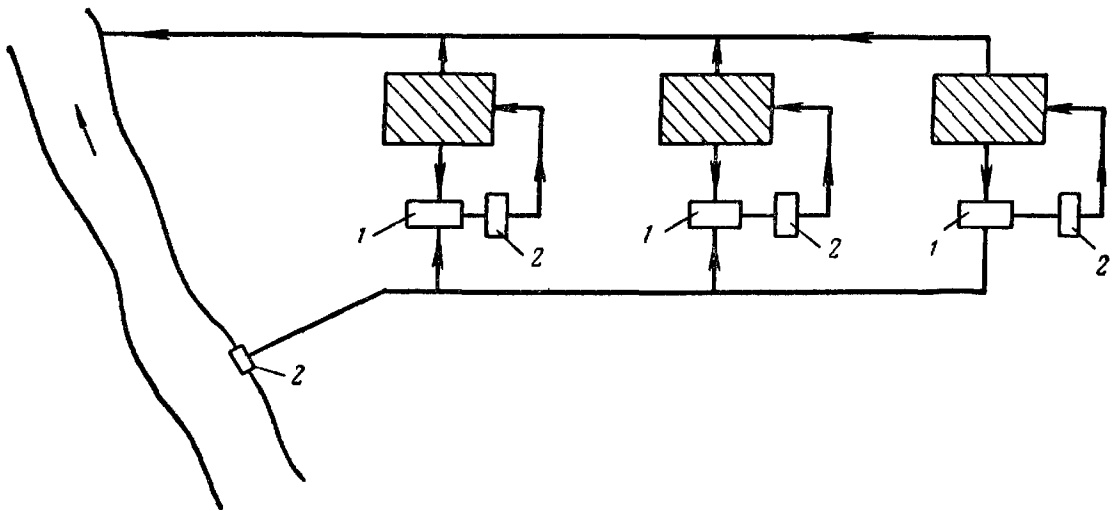


Рис. VII.4

В ряде случаев в системе производственного водоснабжения отдельные потребители (цехи) требуют подачи им воды под существенно различными напорами. Тогда в целях снижения расходов энергии на подачу воды для отдельных групп производственных потребителей устраивают отдельные сети разных напоров, т. е. применяют своеобразное зонирование системы водоснабжения.

Таким образом, на одной промышленной площадке могут быть сооружены отдельные системы для подачи воды различного качества, разных температур и разных давлений.

Глава 30

ОХЛАЖДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

При оборотном водоснабжении промышленного объекта охлаждающее устройство (охладитель) должно обеспечить охлаждение циркуляционной воды до температур, отвечающих оптимальным технико-экономическим показателям работы объекта.

Понижение температуры воды в охладителях происходит за счет передачи ее тепла воздуху. По способу передачи тепла охладители, применяемые в системах оборотного водоснабжения, разделяются на испарительные и поверхностные (радиаторные). В испарительных охладителях охлаждение воды происходит в результате ее испарения при непосредственном контакте с воздухом (испарение 1% воды снижает ее температуру на 6°). В радиаторных охладителях охлаждаемая вода не имеет непосредственного контакта с воздухом. Вода проходит внутри трубок радиаторов, через стенки которых происходит передача ее тепла воздуху.

Так как теплоемкость и влагоемкость воздуха относительно невелики, для охлаждения воды требуется интенсивный воздухообмен. Например, для понижения температуры воды с 40 до 30°С при температуре воздуха 25°С на 1 м³ охлаждаемой воды к испарительному охладителю должно быть подведено около 1000 м³ воздуха, а к радиаторному охладителю, в котором воздух только нагревается, но не увлажняется, — около 5000 м³ воздуха.

Испарительные охладители по способу подвода к ним воздуха разделяются на открытые, башенные и вентиляторные. К открытым охладителям относятся водохранилища-охладители (или пруды-охладители), брызгальные бассейны, открытые градирни. В них движение воздуха относительно поверхности охлаждаемой воды обусловливается ветром и естественной конвекцией. В башенных охладителях — башенных градирнях — движение воздуха вызывается естественной тягой, создаваемой высокой вытяжной башней. В вентиляторных охладителях — вентиляторных градирнях — осуществляется принудительная подача воздуха с помощью нагнетательных или отсасывающих вентиляторов.

Радиаторные охладители, которые называют также «сухими градирнями», по способу подвода к ним воздуха могут быть башенными или вентиляторными.

Для охлаждения циркуляционной воды до достаточно низких температур требуется большая площадь контакта ее с воздухом — порядка 30 м² на 1 м³/ч охлаждаемой воды. Соответственно этой рекомендации следует принимать площадь зеркала воды водохранилищ-охладителей. В градирнях необходимая площадь контакта создается путем распределения воды над оросительными устройствами, по которым она стекает под действием силы тяжести в виде тонких пленок или капель, разбивающихся при попадании на рейки на мельчайшие брызги. В брызгальных бассейнах для создания необходимой площади контакта с воздухом вода разбрызгивается специальными соплами на мельчайшие кап-

ли, суммарная поверхность которых должна быть достаточной для испарительного охлаждения.

§ 148. ПРОЦЕССЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В ОХЛАДИТЕЛЯХ

Теплообмен в испарительных охладителях. При охлаждении воды в испарительных охладителях понижение ее температуры определяется совместным действием различных по физической природе процессов: теплоотдачи соприкосновением, т. е. переноса тепла путем теплопроводности и конвекции, и поверхностного испарения воды, т. е. превращения части ее в пар и переноса пара путем диффузии и конвекции.

В результате теплоотдачи соприкосновением, которая происходит от среды более теплой к среде более холодной, вода отдает тепло, если ее температура выше температуры воздуха, и получает тепло, если ее температура ниже температуры воздуха.

Удельное количество тепла, переданного соприкосновением, определяется по формуле

$$q_c = \alpha(t - \theta),$$

где q_c — удельное количество тепла в ккал/(м²·ч);
 α — коэффициент теплоотдачи соприкосновением в ккал/(м²·ч·°C);
 t — температура поверхности воды в °C;
 θ — температура воздуха в °C.

Поверхностное испарение жидкости происходит, когда парциальное давление пара, содержащегося в воздухе, меньше давления насыщения пара при температуре поверхности жидкости.

Удельное количество тепла, теряемого водой в результате испарения, определяется по формуле

$$q_n = \beta(e_m - e),$$

где q_n — удельное количество тепла в ккал/(м²·ч);
 β — коэффициент теплоотдачи испарением в ккал/(м²·ч·мм вод. ст.);
 e_m — давление насыщения пара при температуре поверхности воды в мм вод. ст.;
 e — парциальное давление водяного пара в воздухе (абсолютная влажность воздуха) в мм вод. ст.

Сумма удельных количеств тепла, передаваемого через водную поверхность в результате совместного действия теплоотдачи соприкосновением и поверхностного испарения, равна

$$q_o = q_c + q_n = \alpha(t - \theta) + \beta(e_m - e).$$

Когда $t > \theta$, оба процесса действуют в одном направлении, вызывая охлаждение воды. При $t = \theta$ передача тепла соприкосновением прекращается, и охлаждение воды происходит только благодаря поверхностному испарению. Вода будет продолжать охлаждаться и при $t < \theta$ до тех пор, пока количество тепла, передаваемого воздухом воде соприкосновением, не сравняется с количеством тепла, теряемого водой в результате испарения, т. е. пока не будет соблюдаться равенство $q_c + q_n = 0$. Температура воды в этот момент достигнет того же значения, которое имеет температура охлаждающего воздуха t , измеренная смоченным термометром. Это значение температуры является теоретическим пределом охлаждения воды воздухом. Отметим, что хотя охлаждение воды при температуре ее, равной t , прекратится, испарение ее и приток к ней тепла будут продолжаться.

Фактически вода в охладителях не охлаждается до теоретического предела. Например, температура воды, охлажденной на градирнях,

обычно на $8-14^{\circ}\text{C}$ превышает температуру воздуха по смоченному термометру, но может оказаться ниже температуры воздуха, измеренной обычным (сухим) термометром.

Таким образом, при испарительном охлаждении может быть достигнута температура воды, более низкая, чем температура воздуха.

Особенности теплообмена в водохранилищах-охладителях. При охлаждении воды в открытых водоемах с большим зеркалом воды кроме теплоотдачи соприкосновением и испарением осуществляется также теплообмен излучением. Последний процесс происходит путем проникания солнечной лучевой энергии (радиации) через открытую поверхность воды. При этом часть солнечной радиации отражается от поверхности воды. В то же время происходит излучение тепла водной поверхностью, как всяким нагретым телом или средой (эффективное излучение).

Удельное количество тепла, переданного воде излучением, определяется радиационным балансом

$$R = (Q + q)n(1 - a) - I,$$

где

R — радиационный баланс в $\text{Мкал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки})$;

Q — прямая солнечная радиация в $\text{Мкал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки})$;

q — рассеянная солнечная радиация в $\text{Мкал}/(\text{м}^2 \times \text{сутки})$;

n — общая облачность в долях единицы;

$(Q + q)n$ — суммарная солнечная радиация при общей облачности в $\text{Мкал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки})$;

a — характеристика отражательной способности воды или альбедо в долях единицы;

$(Q + q)n(1 - a)$ — поглощенная водой суммарная радиация в $\text{Мкал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки})$;

I — эффективное излучение водной поверхностью, зависящее от температуры воды и общей облачности, а также от температуры и влажности воздуха, в $\text{Мкал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки})$.

Сумма удельных количеств тепла, передаваемого через водную поверхность открытого водоема, равна:

$$q_v = q_c + q_n - R$$

Солнечная радиация может заметно снижать охлаждающий эффект испарительного охлаждения. Поэтому вода, охлаждаемая в открытом водоеме, не может достичь температуры, измеренной смоченным термометром. Теоретическим пределом охлаждения в этом случае является естественная температура воды на поверхности водоема при установившихся метеорологических условиях, удовлетворяющая равенству:

$$q_c + q_n - R = 0$$

Теплообмен в радиаторных охладителях. Тепло от воды к воздуху в радиаторных охладителях передается через стенки трубчатых радиаторов, в которых циркулирует охлаждаемая вода.

Удельное количество тепла, переданного через стенку радиатора, определяется по формуле

$$q_p = \alpha_p(t - \theta),$$

где q_p — удельное количество тепла в $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$;

α_p — общий коэффициент теплопередачи от воды к воздуху в $\text{ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

t — температура воды, проходящей через радиатор, в $^{\circ}\text{C}$;

θ — температура воздуха, обтекающего радиатор, в $^{\circ}\text{C}$.

Общий коэффициент теплопередачи α_p зависит от теплопроводности материала, из которого выполнен радиатор, толщины стенки его трубок, а также от интенсивности теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубки и от наружной поверхности трубки к воздуху. Он определяется из формулы

$$\frac{1}{\alpha_p} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2},$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубки радиатора в ккал/(м²·ч·°С);

s — толщина стенки радиатора в м;

λ — теплопроводность материала радиатора в ккал/(м²·ч·°С);

α_2 — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубки радиатора к воздуху в ккал/(м²·ч·°С).

Коэффициент α_2 имеет весьма низкие значения даже при больших скоростях воздуха, обтекающего радиаторы. Для компенсации плохой теплоотдачи к воздуху выгодно увеличить поверхность радиаторов со стороны воздуха. Поэтому они выполняются с ребрами на наружной поверхности трубок.

Теоретическим пределом охлаждения воды в радиаторных охладителях является температура воздуха, измеренная сухим термометром.

§ 149. ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛИ

По назначению, расположению и условиям питания водохранилища-охладители разделяются на следующие группы:

регулирующие водохранилища на водотоках, используемые не только для охлаждения циркуляционной воды, но и для сезонного или многолетнего регулирования стока;

водохранилища-охладители на водотоках без регулирования стока, сооружаемые лишь для создания поверхности, достаточной для охлаждения циркуляционной воды;

водохранилища-охладители на естественных озерах и прудах;

наливные водохранилища, сооружаемые вне водотока, с подпиткой из ближайших рек.

Схемы циркуляции воды в водохранилищах-охладителях. Свободная поверхность водохранилища-охладителя не вся одинаково эффективно участвует в отдаче тепла, поступающего с нагретой циркуляционной водой. Количество тепла, отводимого с единицы площади того или иного участка поверхности водохранилища, зависит от температуры воды на этом участке. Поэтому при термическом расчете водохранилища-охладителя необходимо представить картину распределения температур по его поверхности; следовательно, необходимо составить схему распределения потока теплой воды от точки ее сброса до места ее приема.

Схема циркуляции в водохранилище-охладителе определяется его формой, взаимным расположением водосбросных и водоприемных сооружений, а также струераспределительными и струенаправляющими сооружениями.

При проектировании для современных мощных электростанций крупных водохранилищ-охладителей с глубинами, достигающими десятков метров, и с объемами воды в сотни миллионов кубических метров следует учитывать, что кроме градиентных течений, вызываемых сбросом циркуляционного расхода и поступлением речной воды, в водохранилищах имеют место также ветровые, плотностные и компенсационные течения.

Ветровые течения приводят к сгону воды от подветренной стороны водоема и к нагону ее у наветренной стороны. Возникающий при этом горизонтальный градиент давления, направленный в сторону, противоположную ветру, вызывает один из видов глубинных компенсационных течений.

Известно, что вода имеет максимальную плотность при температуре 4°C , а при нагревании ее плотность уменьшается. Передача тепла в водную толщу за счет молекулярной диффузии и теплопроводности весьма слаба. Поэтому при прогреве верхних слоев воды возникает температурная стратификация: температура воды на поверхности оказывается выше, чем в глубинных слоях, и эта разница достигает иногда 10°C и более. При выпуске теплой воды на поверхность водохранилища может возникнуть устойчивая разница температур воды в верхних и нижних слоях и произойти расслоение потоков, имеющих различную плотность. В этом случае возникают верхнее теплое и глубинное холодное течения, которые могут быть разнонаправленными. Такие течения называются плотностными.

При сбросе нагретой воды в водохранилище у сбросных сооружений часто наблюдается понижение температуры воды на несколько градусов. Это объясняется тем, что нагретая вода, если она выходит в водохранилище со значительными скоростями, эжектирует массы холодной воды из придонных слоев и вовлекает их в циркуляционный поток. Этот смешанный поток, имея меньшую плотность, чем придонные слои, выходит на поверхность, а по направлению к сбросным сооружениям возникает глубинный ток холодной воды, являющийся вторым видом компенсационных течений.

Вследствие отсутствия методов, позволяющих установить расчетным путем действительную сложную картину распределения течений и температур воды по поверхности и глубине водохранилища-охладителя, при решении практических инженерных задач приходится принимать весьма упрощенную схему течений.

Приближенный метод построения плана течений в водохранилище-охладителе был впервые предложен в 1933 г. инж. Н. М. Бернадским. Пользуясь этим методом, разработанным на базе теории турбулентного потока, можно с учетом сил трения по дну и сил касательных напряжений между соседними струями построить план транзитного потока (от места сброса воды до водоприемных сооружений), водоворотов, вызванных транзитным потоком, и застойных зон.

Считается, что с поверхности водоворотов теплоотдача происходит с меньшей интенсивностью, чем с поверхности транзитного потока. Площадь действительной поверхности водохранилища заменяется, согласно предложению Н. М. Бернадского, «площадью активной зоны», которая учитывает теплоотдачу транзитного потока и смежных с ним водоворотов. Отношение площади активной зоны к площади действительной поверхности водохранилища называется коэффициентом использования площади водохранилища: $K = \omega_{\text{акт}} / \omega_{\text{в}}$. Этот коэффициент в зависимости от формы водохранилища, схемы расположения водосбросных и водоприемных сооружений и условий растекания циркуляционного потока может иметь значения от 0,5 до 0,95.

Более надежные данные для проектирования, в частности значения коэффициента использования площади водохранилища-охладителя, могут быть получены по результатам гидротермического моделирования на крупномасштабной модели водохранилища, которое проводится по методике, разработанной ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева в 1971 г.

Чтобы распределить транзитный поток циркуляционной воды по

возможно большей части поверхности водохранилища и создать площадь активной зоны, достаточную для охлаждения расчетного расхода, нагретую на промышленном предприятии воду сбрасывают на значительном расстоянии от водоприемных сооружений, а также применяют струенаправляющие и струераспределительные сооружения.

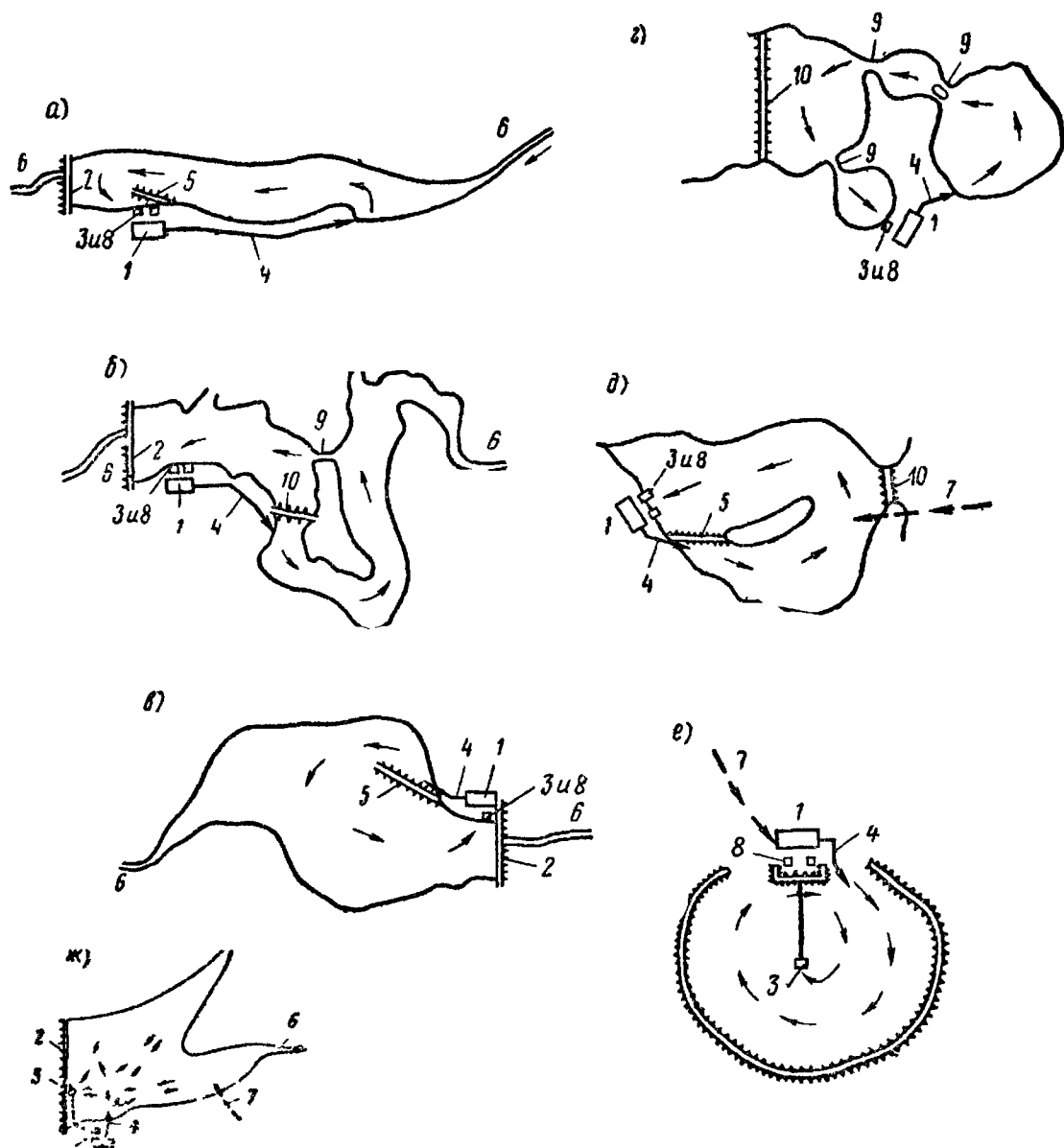


Рис. VII 5

1 — промышленное предприятие; 2 — плотина; 3 — водоприемное сооружение; 4 — отводящий канал; 5 — струенаправляющая дамба; 6 — река; 7 — подача воды из соседней реки; 8 — насосная станция; 9 — прорезь; 10 — перегородивающая дамба

Исследованиями последних лет установлено, что в больших и глубоких водохранилищах-охладителях, которые сооружаются, например, для современных мощных теплоэлектростанций, возможно создание объемной циркуляции воды. Для этого необходимо организовать прием воды только из глубинных слоев водохранилища, а нагретую воду сбрасывать на поверхность водохранилища с малыми скоростями. Тогда можно располагать сбросные сооружения вблизи водоприемных и даже совмещать их в одном сооружении. При этом нагретая вода, имеющая меньшую плотность, чем холодная, растекается по поверхности водохранилища и, охлаждаясь, переходит в глубинные слои, которые движутся к водоприемным сооружениям. Такая схема циркуляции позволяет отказаться от длинных отводящих каналов и струенаправ-

ляющих сооружений при высоком коэффициенте использования площади водохранилища.

Некоторые примеры организации водохранилищ-охладителей и схем расположения сооружений, предназначенных для обеспечения наиболее полного использования их поверхности для охлаждения воды, приведены на рис. VII.5. Здесь представлены:

водохранилище вытянутой формы на водотоке (рис. VII.5, а); циркуляция обеспечивается отводящим каналом и струенаправляющей дамбой перед водоприемными сооружениями;

водохранилище сложной формы на водотоке (рис. VII.5, б); циркуляция обеспечивается перегораживающей дамбой и искусственной прорезью;

широкое водохранилище на водотоке (рис. VII.5, в); циркуляция обеспечивается струенаправляющей дамбой;

использование системы естественных озер для охлаждения воды (рис. VII.5, г);

наливное водохранилище, для сооружения которого удачно использован рельеф местности (рис. VII.5, д);

наливное водохранилище с круговой циркуляцией воды и водоприемным сооружением в центре (рис. VII.5, е);

глубокое водохранилище на малом водотоке с выпуском нагретой воды на поверхность и глубинным водоприемным сооружением, расположенным вблизи выпуска (рис. VII.5, ж); циркуляция воды — объемная с разнонаправленными поверхностным и глубинным потоками.

Тепловой расчет водохранилища-охладителя. Тепловой расчет водохранилища-охладителя производится для определения температуры охлажденной воды у места ее приема при заданной площади активной зоны или для определения необходимой площади активной зоны водохранилища при заданных тепловой и гидравлической нагрузках.

Температура охлажденной воды определяется для установившегося теплового режима применительно к метеорологическим условиям наиболее неблагоприятной для охлаждения воды декады. Это достигается решением уравнения теплового баланса:

$$Q_1 t_1 + Q_p t_p - Q_2 t_2 - Q_{сбр} t_{сбр} = [A(e_m - e) + B(k_1 t_{ср} - \theta) - R + \Delta I] \omega_{акт},$$

где $Q_1 t_1$ — количество тепла, сбрасываемого в водохранилище с нагретой водой, в Мкал/сутки;

$Q_p t_p$ — количество тепла, приносимого с речной водой, в Мкал/сутки;

$Q_2 t_2$ — количество тепла, забираемого с водой из водохранилища, в Мкал/сутки;

$Q_{сбр} t_{сбр}$ — количество тепла, сбрасываемого из водохранилища, в Мкал/сутки;

$A(e_m - e)$ — удельное количество тепла, отдаваемого поверхностью водохранилища путем испарения, в Мкал/(м²·сутки);

$B(k_1 t_{ср} - \theta)$ — удельное количество тепла, отдаваемого поверхностью водохранилища путем конвекции (соприкосновением), в Мкал/(м²·сутки);

k_1 — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения температур воды по глубине водохранилища;

$t_{ср}$ — средняя температура активной зоны водохранилища-охладителя в °С;

R — радиационный баланс неподогреваемого водоема в Мкал/(м²·сутки);

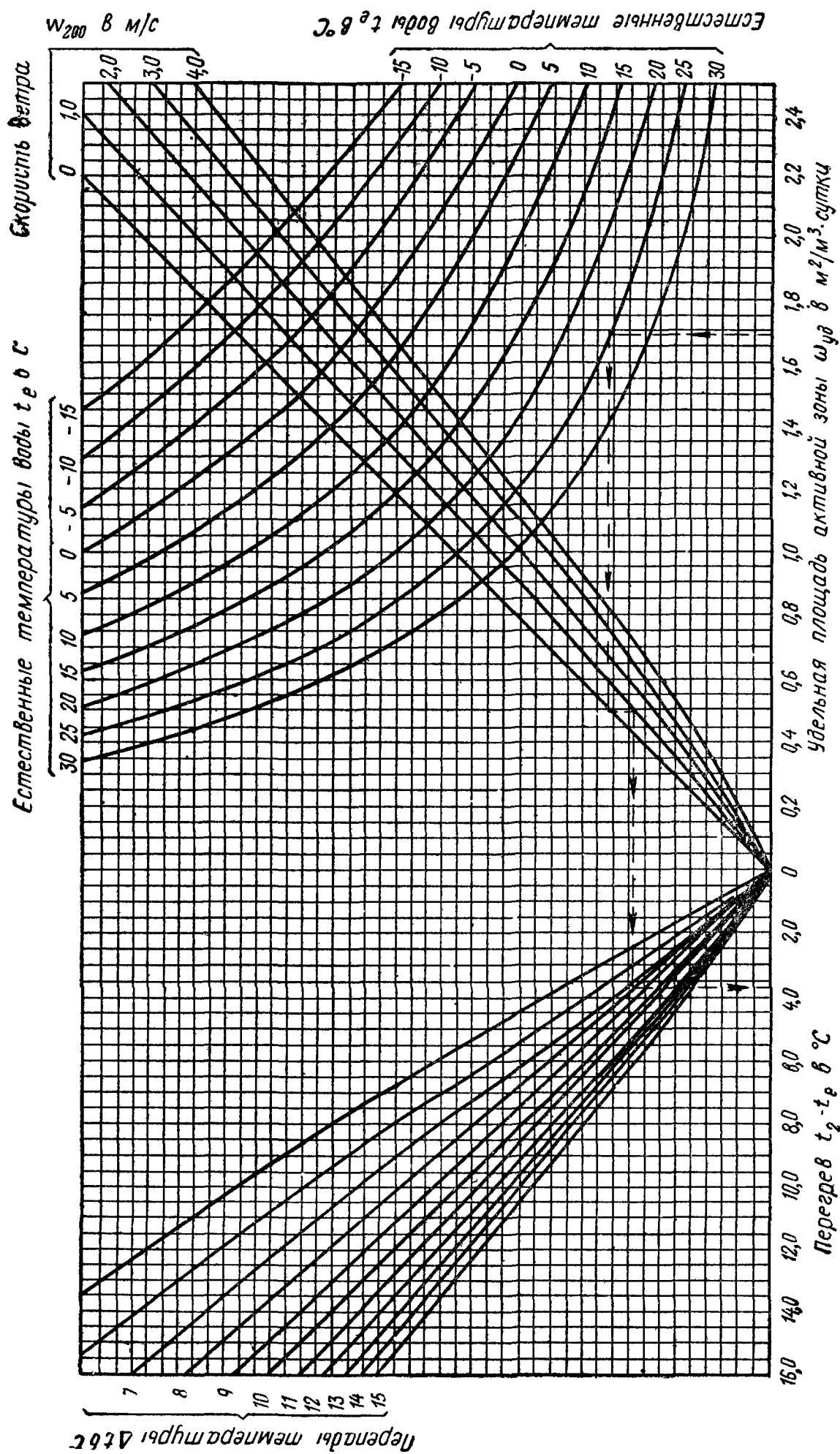


Рис. VII.6

ΔI — дополнительное эффективное излучение водной поверхностью в Мкал/(м²·сутки);

$\omega_{\text{акт}}$ — площадь активной зоны водохранилища в м².

Коэффициенты теплоотдачи принимаются равными:

коэффициент теплоотдачи испарением

$$A = 0,231(1 + 0,135 \omega_{200}) \text{ Мкал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки} \cdot \text{мм вод. ст.});$$

коэффициент теплоотдачи конвекцией

$$B = 0,48A = 0,11(1 + 0,135 \omega_{200}) \text{ Мкал}/(\text{м}^2 \cdot \text{сутки} \cdot ^\circ\text{C}),$$

где ω_{200} — скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью воды в м/с.

Из этого уравнения определяется средняя температура воды в пределах активной зоны водохранилища-охладителя $t_{\text{ср}}$. Температура охлажденной воды t_2 , поступающей в водоприемное сооружение, определяется из следующего уравнения:

$$t_{\text{ср}} = t_e + \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{t_1 - t_e}{t_2 - t_e}},$$

где t_e — естественная температура воды в водохранилище без учета подогрева ее теплом, отводимым от промышленного объекта;

t_1 — температура нагретой циркуляционной воды, сбрасываемой в водохранилище от промышленного предприятия.

Естественная температура воды для проектируемого водохранилища-охладителя может быть принята по аналогии с температурой воды в водоемах, расположенных в том же районе, или определена по уравнению теплового баланса

$$A(e_m - e) + B(k_1 t_e - \theta) - R = 0,$$

которое решается подбором относительно t_e .

Для облегчения практических расчетов можно пользоваться номограммой на рис. VII.6, для чего следует подсчитать удельную площадь активной зоны $\omega_{\text{уд}}$, приходящуюся на единицу расхода охлаждаемой воды, в м²/м³ в сутки. По номограмме определяется перегрев охлажденной в водохранилище циркуляционной воды, поступающей к месту ее приема, по сравнению с естественной температурой воды ($t_2 - t_e$) в зависимости от величины нагрева воды на электростанции (перепада температур $\Delta t = t_1 - t_2$).

Для ориентировочных расчетов можно принимать необходимую площадь водохранилища-охладителя от 30 до 50 м² для охлаждения 1 м³/ч воды на 8—10°.

Основные сооружения водохранилищ-охладителей. Проектирование плотин, дамб, водосбросов и каналов для водохранилищ-охладителей производят по соответствующим нормам проектирования гидротехнических сооружений.

Место расположения водосбросных и водоприемных сооружений, а также сооружений, увеличивающих активную зону водохранилища (струераспределительных и струенаправляющих сооружений), выбирают исходя из условий получения необходимой площади активной зоны на основе технико-экономических расчетов.

Струенаправляющие и струераспределительные сооружения выполняют в виде водосливов, лотков, труб, консольных водосбросов. Струераспределительные сооружения наиболее целесообразно выполнять в виде затопленных водосливов распластанного профиля либо в виде фильтрующих дамб из каменной наброски. Такие сооружения обеспечивают выпуск теплой воды на поверхность водохранилища с малыми скоростями, что предотвращает появление глубинного течения к водосбросу.

Наиболее рациональным типом сооружения для забора воды из водохранилища-охладителя глубиной не менее 4—5 м является глубинный водозабор, обеспечивающий получение воды из придонных слоев. Этим достигается наиболее низкая температура охлаждающей воды, предотвращение или резкое уменьшение захвата биологических загрязнений (микроорганизмов, низшей водной растительности, личинок моллюсков) и наиболее рациональная продувка водохранилища. При глубинном водозаборе резко уменьшается захват рыбы и, что особенно важно, мальков, которые обитают обычно на небольших глубинах. Глубинный водозабор обеспечивает также бесперебойную подачу воды к потребителям при шуговых явлениях без принятия мер по обогреву водозабора.

Во избежание подсосывания воды из верхних слоев входные окна глубинного водозабора должны быть расположены на достаточной глубине, а входные скорости воды должны быть минимальными. В зависимости от глубины расположения верхней кромки входного окна водозабора входные скорости принимаются от 0,1 до 0,3 м/с.

Глубинные водозаборы выполнялись ранее в виде забральных стенок, погруженных на определенную глубину и образующих входные отверстия между дном водохранилища и нижней кромкой стенки. В последние годы широкое применение получили водоприемные сооружения, выполненные в виде подводной галереи со щелью переменного сечения во фронтальной стенке и козырьком над щелью, конструкция которых разработана в институте Теплоэлектропроект (рис. VII.7). Такое водоприемное сооружение не подвергается воздействию волновых и ледовых нагрузок и обеспечивает равномерное поступление воды по всему водоприемному фронту.

§ 150. БРЫЗГАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Брызгальные устройства представляют собой систему сопел, разбрызгивающих подводимую к ним под напором воду, подлежащую охлаждению. Суммарная поверхность капель должна быть достаточной для охлаждения воды, которое происходит в результате ее испарения при контакте с воздухом, поступающим к брызгальному устройству благодаря ветру и естественной конвекции.

Сложность процесса охлаждения воды в брызгальных устройствах затрудняет разработку теоретических методов их теплового расчета. Поэтому для определения температуры охлажденной в них воды пользуются эмпирическими зависимостями, полученными на основе опытных данных.

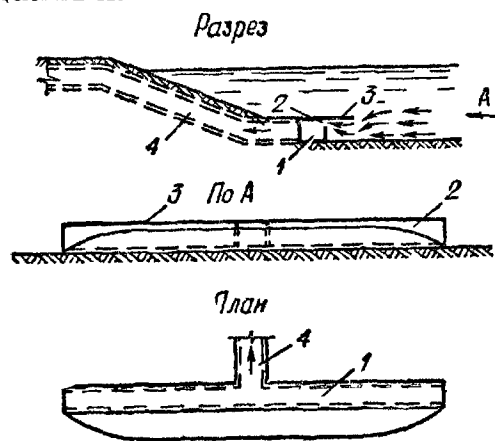


Рис VII 7

1 — подводная галерея; 2 — щель переменного сечения; 3 — козырек; 4 — самотечный водовод к насосной станции

На рис. VII.8, а приведена диаграмма, построенная д-ром техн. наук Л. Д. Берманом, в которой дается зависимость температуры охлажденной воды от температуры воздуха, измеренной смоченным термометром, при напоре перед соплами $H=5$ м вод. ст. и скорости ветра $w=2$ м/с. При большем напоре из температуры охлажденной воды, полученной на основной диаграмме, вычитается поправка, определяемая по дополнительному графику (рис. VII.8, б).

Брызгальные устройства могут размещаться либо над искусственным бассейном, служащим для сбора охлажден-

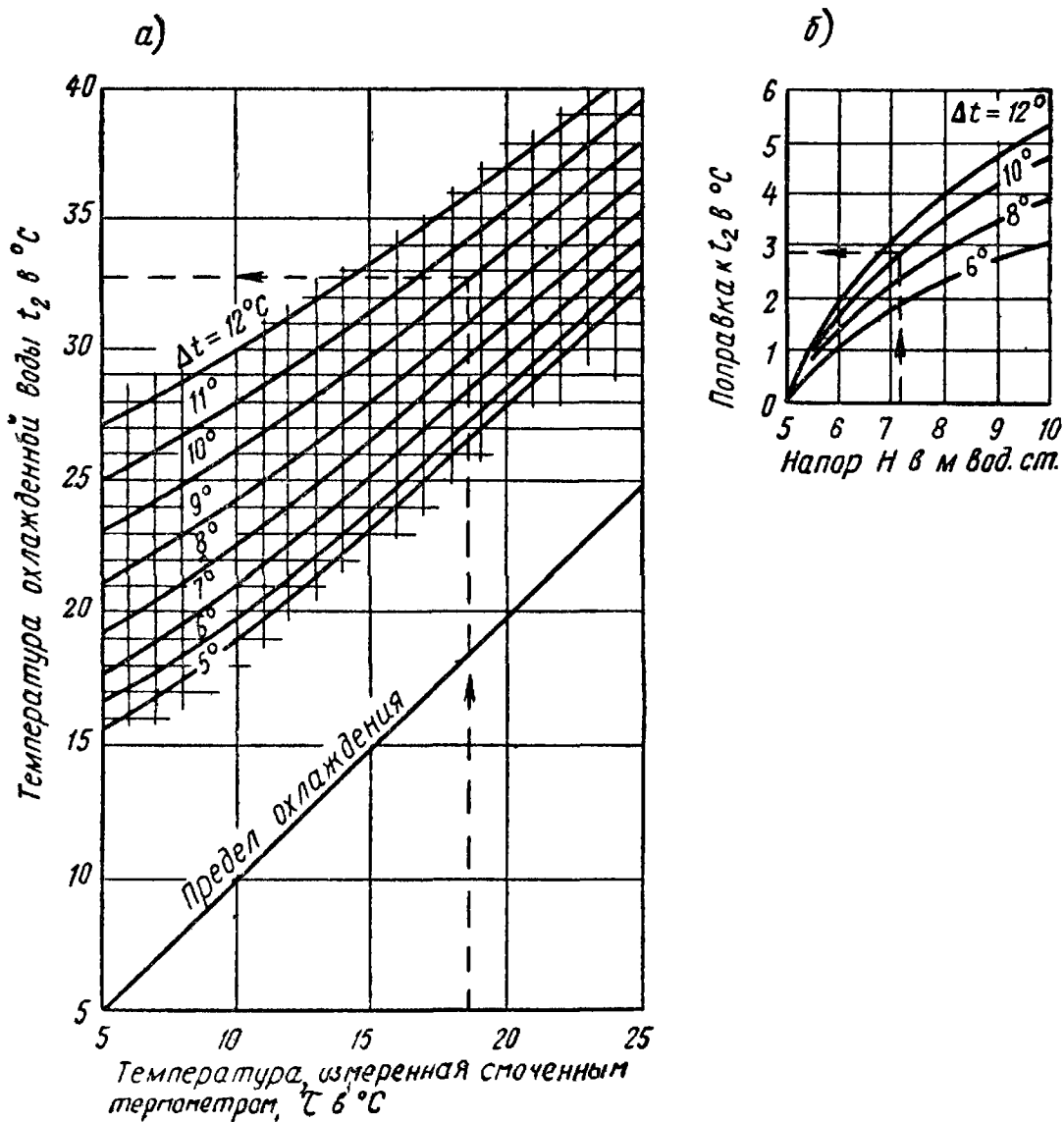


Рис. VII.8

ной воды (рис. VII.9), либо над естественным водоемом (например, в качестве дополнительных охладителей при ограниченных размерах водохранилищ-охладителей).

На одной мощной тепловой электростанции, построенной в 1972 г., с целью частичного охлаждения сбрасываемой в водохранилище воды применены брызгальные устройства, удачно расположенные на бетонированных бортах отводящего канала циркуляционной воды.

Разбрызгивающие сопла. Применяемые в брызгальных бассейнах и устройствах сопла можно разделить на два основных типа: центробежные и щелевые.

В соплах первого типа вода проходит по спирали, и разбрызгивание ее происходит за счет центробежной силы. К таким соплам относятся сопло с винтовым вкладышем конструкции МОТЭП (рис. VII.10, а), эвольвентные сопла (рис. VII.10, б) и др. Материалом для таких сопл служат ковкий чугун или пластмассы. Наиболее рациональны сопла без вкладышей, требующие меньшего напора и в меньшей степени подверженные засорению.

Щелевые сопла (например, П-16 на рис. VII.10, в) изготовляют из отрезков газовых труб, на конце которых делают прорезы в виде щелей. Образующиеся при этом зубцы отгибают к оси таким образом, чтобы получился конус, в вершине которого оставляется небольшое отверстие.

Конструкция сопла и величина напора воды перед ним определяют поверхность охлаждения водяного факела. При повышении напора она увеличивается за счет удлинения траекторий полета капель и уменьшения их диаметра. Однако повышение напора связано с увеличением затрат электроэнергии, расходуемой циркуляционными насосами, а также с увеличением уноса мелких капель ветром за пределы бассейна.

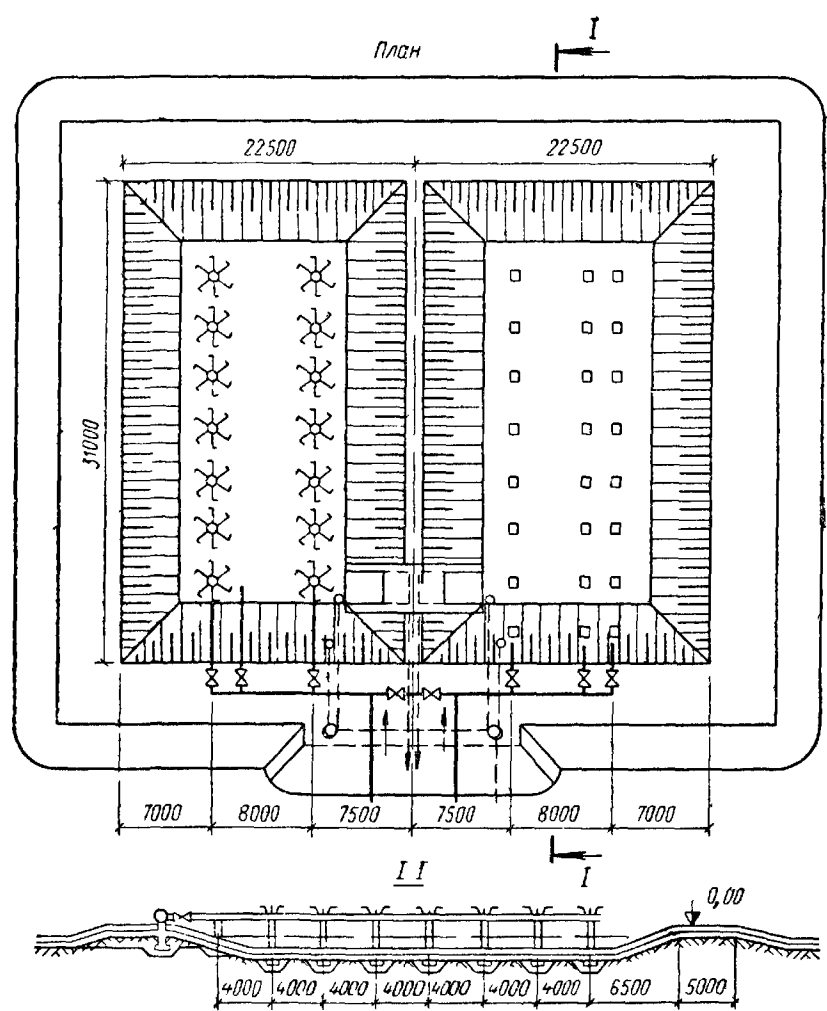


Рис. VII 9

Сопла располагаются на высоте 1,2—1,5 м над уровнем воды по одному или пучками по три—пять.

Технические данные сопел некоторых марок указаны в табл. VII.1.

Таблица VII 1

Марка сопла	Производительность при напоре 6 м вод. ст. в м³/ч	Суммарная поверхность капель в м²	Число сопел в пучке	Расстояние в м		
				между сопел	между пучками сопел	между распределительными линиями
МОТЭП диаметром 50/25 мм	20,9	41,25	3	1,2—1,5	3,3	12
«Юни-спрей»	19	35,2	3	1,2—1,5	3,3	12
Эвольвентные диаметром в мм:						
100/50	34,5	—	1	—	4	8—10
50/25	9,1	—	5	1,2—1,5	4	8,5
П-16	46	80	1	—	4,5	9—10

Для уменьшения уноса капель воды ветром крайние сопла устанавливают на расстоянии 7—10 м от края бассейна.

Распределительные линии присоединяют к коллектору, который прокладывают вдоль одного из бортов бассейна.

Трубопроводы брызгальных устройств изготавливают обычно из стали и прокладывают над или под уровнем воды. В последнем случае упро-

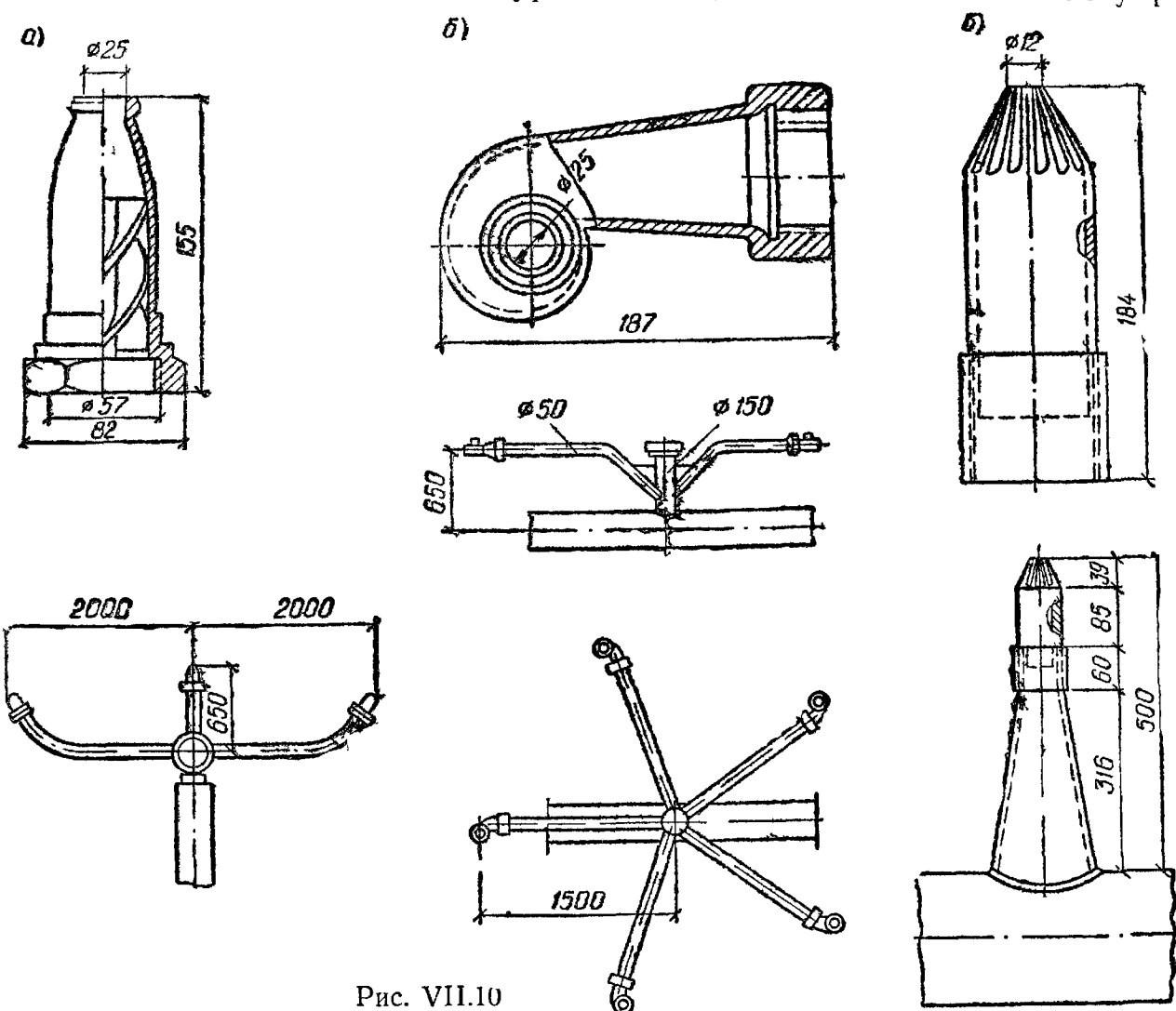


Рис. VII.10

щается конструкция опор, устраняется опасность обледенения труб в зимнее время, но ремонт трубопроводов и надзор за ними усложняются. Прокладку труб осуществляют на катковых опорах, которые устанавливают на опорных колоннах из железобетона.

При расположении брызгальных устройств над водоемами трубопроводы прокладывают на сваях или поплавках.

Размеры и расположение брызгальных устройств. Размеры брызгального устройства определяются расходом охлаждаемой воды и плотностью орошения, т. е. расходом воды, приходящимся на 1 м^2 площади брызгального устройства. В зависимости от климатических условий величину плотности орошения принимают от 0,8 до $1,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 .

В целях эффективного продувания ветром брызгальных устройств их распределительные линии должны размещаться параллельно направлению господствующих ветров, причем расстояние между крайними соплами, размещенными на распределительной линии, не должно превышать 45 м.

При размещении брызгальных устройств следует учитывать возможность образования тумана и обледенения соседних сооружений и дорог. Расстояния от брызгал до зданий и дорог регламентированы СНиП II-Г.3-62.

В бассейне, как правило, должно быть не менее двух секций. Каждая секция должна иметь переливную трубу для предотвращения переполнения бассейна и выпуск для его опорожнения.

Глубину воды в брызгальном бассейне обычно принимают равной 1,5 м. Бровка бассейна должна возвышаться над уровнем воды не менее чем на 0,3 м.

Одежда откосов и дна бассейнов должна предотвращать фильтрацию через них воды. При слабоводопроницаемых грунтах применяют облицовку из железобетонных плит или слоя асфальтобетона. При сильно водопроницаемых грунтах по подготовке из бетона укладывают слой гидроизоляции из асфальтовой мастики, или слой гидроизола на клебемассе, или слой битумных матов. Гидроизоляцию защищают сверху бетонными или железобетонными плитами.

Вокруг бассейна устраивают асфальтированную площадку шириной 3—5 м с уклоном в сторону бассейна.

При размещении брызгального устройства над водоемом вблизи берега береговой откос во избежание его размыва следует планировать и укреплять.

§ 151. ГРАДИРНИ

Необходимая для охлаждения воды площадь поверхности ее соприкосновения с воздухом создается в градирнях на оросительных устройствах (оросителях), которые могут быть капельными, пленочными или комбинированными. Имеются градирни без оросителей, в которых над водосборными бассейнами внутри башни устанавливаются высоконапорные разбрызгивающие сопла. Эти так называемые брызгальные градирни менее эффективны, чем градирни с капельным или пленочным оросителем, поскольку площадь поверхности контакта воды с воздухом в них относительно меньше.

Ороситель называется поперечноточным, если воздух проходит через него горизонтально — поперек стекающих вниз пленок или падающих капель воды, и противоточным, если воздух движется в нем вверх — навстречу стекающей воде.

Водораспределительные и оросительные устройства градирен. Охлаждаемая вода распределяется над оросителем градирни по системе деревянных или железобетонных лотков, в дне которых имеются отверстия со вставленными в них трубочками (гидравлическими насадками). Струи воды, вытекающие из насадков, падают на разбрызгивающие тарелочки, образуя фонтаны брызг, орошающие расположенный ниже ороситель. Гидравлические насадки и тарелочки изготовляют из фарфора или пластмассы. Их располагают над оросителем с таким расчетом, чтобы факелы брызг, создаваемых соседними тарелочками, перекрывали друг друга, что достигается при расстоянии между ними 1—1,25 м. Применяют также напорное водораспределительное устройство из нержавеющей труб, например асбестоцементных. В этом случае вода разбрызгивается над оросителем с помощью специальных низконапорных сопел.

Капельный ороситель состоит из большого числа деревянных реек треугольного или прямоугольного сечения, расположенных горизонтальными ярусами (рис. VII.11, а). При падении капель воды с верхних реек на нижние образуются факелы мелких брызг, создающие большую поверхность соприкосновения с воздухом.

Пленочный ороситель состоит из щитов, устанавливаемых вертикально (рис. VII.11, б) или под небольшим углом к вертикали. По поверхности щитов стекает вода, образуя пленку толщиной 0,3—0,5 мм. Щиты выполняют из отдельных досок, располагаемых горизонтально на

некотором расстоянии друг от друга. Применяют и сплошные щиты из хорошо смачивающихся материалов, например асбестоцементные пресованные листы толщиной 6—8 мм. Для создания сплошной пленки на нижней кромке щита делают треугольные вырезы (фестоны), сосредоточивающие стекающую воду в отдельные струйки, которые как бы растягивают пленку по поверхности щита. При стекании пленки со щитов отдельными струйками уменьшается сопротивление проходу воздуха под оросителем.

Применяют также оросители комбинированные капельно-пленочные (рис. VII.11, в).

При конструировании оросителя следует стремиться к уменьшению сопротивления движению воздуха, так как это дает возможность увеличить расход воздуха через градирню и, следовательно, интенсифицировать охлаждение в ней воды. В этом смысле пленочный ороситель предпочтительнее капельного, так как он оказывает меньшее сопротивление движению воздуха, однако для его изготовления требуется больший расход материалов.

Постоянный контакт с текущей теплой водой и влажным воздухом приводит к быстрому износу деревянных конструкций оросителей, поэтому срок их службы невелик и требуются частые ремонты.

В настоящее время широкое распространение получили оросители градирен, выполняемые из плоских или волнистых асбестоцементных листов с несущим каркасом из сборных железобетонных конструкций.

Изыскиваются и испытываются новые материалы, в частности пластмассы.

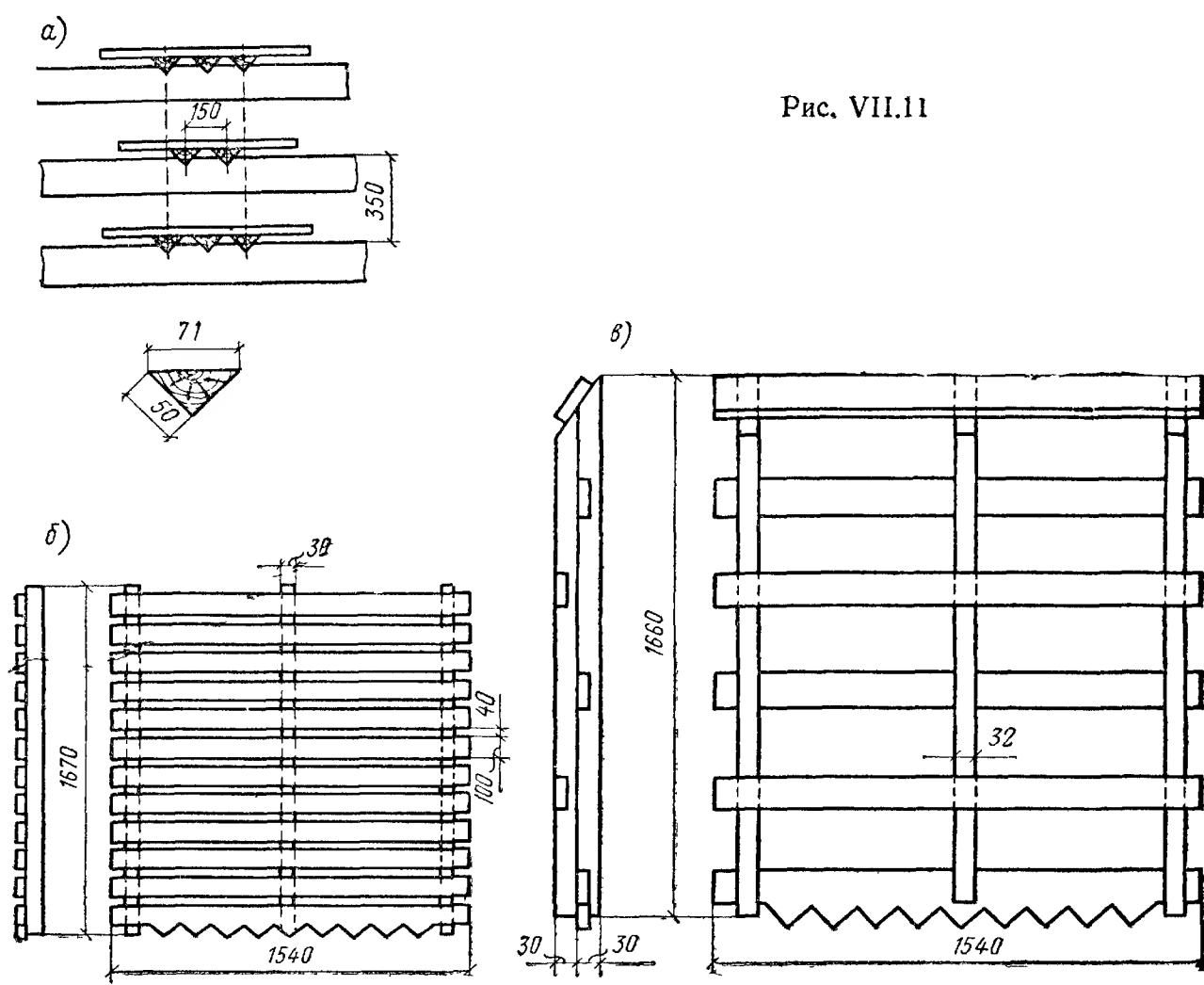


Рис. VII.11

При эксплуатации градирен в зимнее время возникают трудности в связи с обледенением участков оросителей, расположенных вблизи воздухоходных окон градирен. Обледенение может привести к обрушению оросителя из-за дополнительных нагрузок от образовавшегося льда. Во избежание обледенения уменьшают поступление воздуха в градирню в зимнее время, для чего перед воздухоходными окнами устанавливают навесные или поворотные щиты. Применяют также обливание расположенных вблизи воздухоходных окон участков оросителя теплой водой, которая подводится по специальному трубопроводу, оборудованному разбрызгивающими соплами.

Тепловой и аэродинамический расчет градирен. Вода охлаждается в градирне, отдавая тепло воздуху за счет теплопередачи и испарения. Коэффициенты теплоотдачи определяются на основании исследований, проводимых на опытных установках, и для удобства расчетов условно относятся к единице объема оросителя. Эти объемные коэффициенты теплоотдачи зависят от скорости движения воздуха в оросителе и конструкции оросителя.

Теоретический метод теплового расчета градирни был предложен инж. В. В. Проскуряковым. При расчете по этому методу оросительное устройство разбивается на участки сечениями, перпендикулярными направлению движения воздуха. Для каждого участка, начиная с нижнего, определяется изменение температуры воды и состояния воздуха (его температуры и влажности) путем подсчета количества тепла, переданного водой воздуху соприкосновением и за счет испарения.

Если расход воздуха через градирню неизвестен, то расчет проводится для нескольких значений скорости движения воздуха в оросителе. Действительную скорость движения воздуха в этом случае находят путем сопоставления аэродинамического сопротивления градирни и тяги воздуха.

Общее сопротивление движению воздуха в градирне (аэродинамическое сопротивление) складывается из сопротивления в воздухоход-

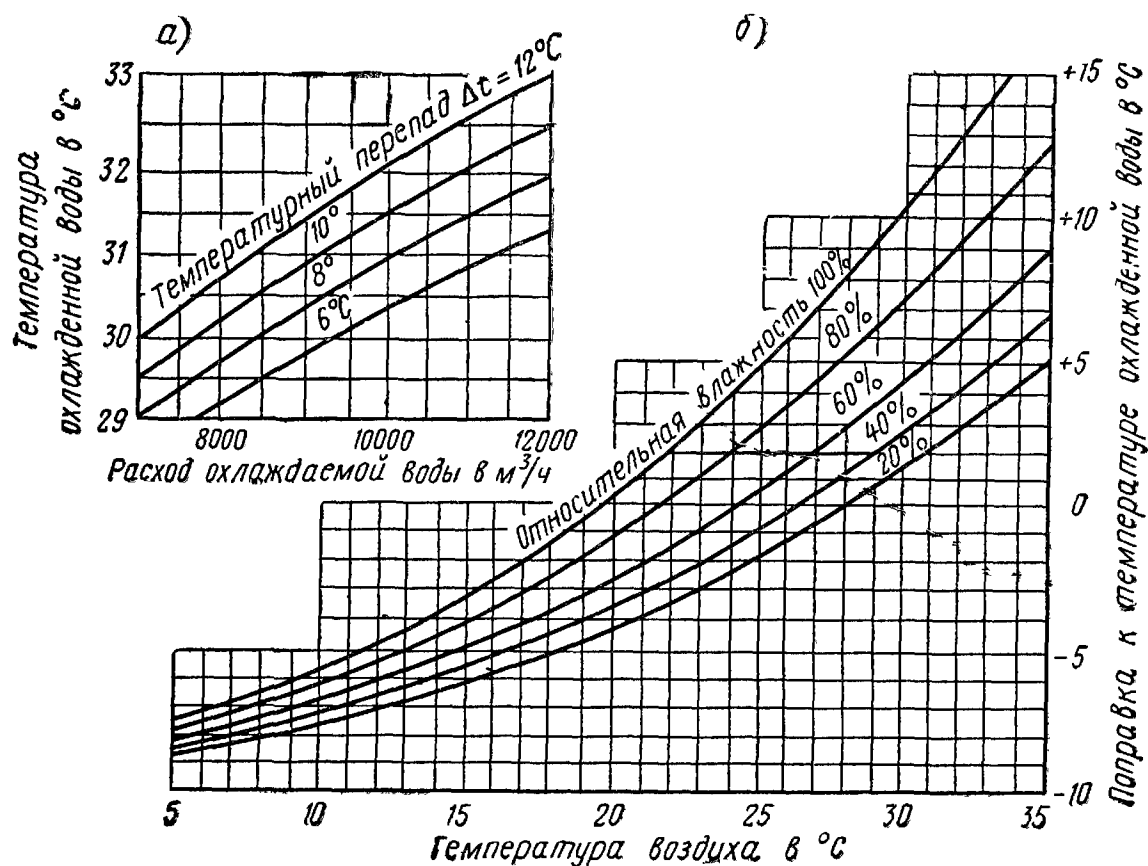


Рис. VII.12

ных окнах, в оросительном и водораспределительном устройствах и на выходе из градирни. Оно может быть определено по формуле

$$h = \xi \frac{v_{\text{ср}}^2 \gamma_{\text{ср}}}{2g} \approx \xi \frac{v_{\text{ср}}^2}{16},$$

где h — аэродинамическое сопротивление градирни в кгс/м²;
 ξ — коэффициент общего аэродинамического сопротивления градирни, отнесенный к скорости движения воздуха в среднем сечении оросителя (брутто);
 $v_{\text{ср}}$ — скорость движения воздуха в среднем сечении оросителя (брутто, без учета стеснения сечения конструкциями) в м/с;
 $\gamma_{\text{ср}}$ — средний удельный вес воздуха в оросителе в кгс/м³.

Величина тяги в вентиляторных градирнях определяется характеристикой вентиляторов. В башенных градирнях она вычисляется по формуле

$$z = (H_6 + 0,5 H_{\text{ор}}) (\gamma_1 - \gamma_2),$$

где z — сила тяги в кгс/м²;
 H_6 — высота вытяжной башни над оросителем в м;
 $H_{\text{ор}}$ — высота оросителя в м;
 γ_1 — удельный вес наружного воздуха в кгс/м³;
 γ_2 — удельный вес воздуха, выходящего из градирни, кгс/м³.

На основе подобных расчетов составляют графики зависимости температуры охлажденной на градирнях воды от тепловой и гидравлической нагрузок и различных метеорологических условий. Эти графики, уточненные затем путем проведения натурных наблюдений, используют при практических расчетах. В качестве примера на рис. VII.12, а дан график для определения температуры охлажденной воды на гиперболической градирне с комбинированным оросителем при температуре воздуха 25°С и его относительной влажности 54%, а на VII.12, б — вспомогательный график для внесения поправок к температуре охлажденной воды при других параметрах воздуха.

Открытые градирни. Открытые градирни бывают двух типов: брызгальные и с капельным оросителем.

Первые представляют собой небольшой брызгальный бассейн, огражденный со всех сторон жалюзийными решетками, препятствующими большому выносу брызг воды за пределы градирни. Разбрызгивающие сопла небольшой производительности располагаются на высоте 4—5 м над уровнем воды в резервуаре и направлены вниз. Плотность орошения для таких градирен принимают от 1,5 до 3 м³/ч на 1 м² (рис. VII.13).

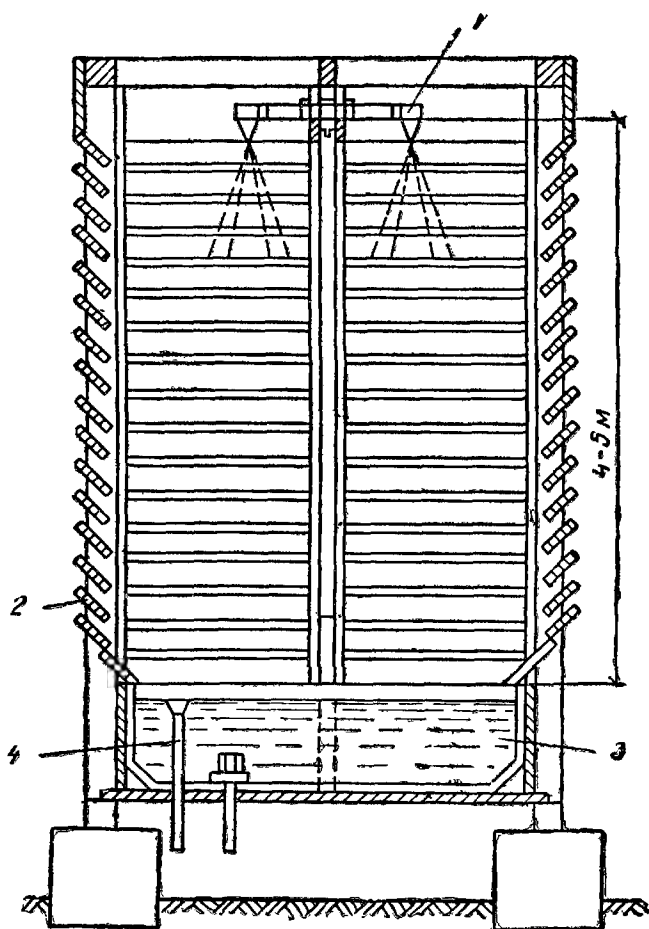


Рис VII 13

1 — разбрызгивающие сопла, 2 — жалюзийная решетка; 3 — бассейн, 4 — переливная труба

Открытые градирни капельного типа имеют ороситель из деревянных брусков, заключенный в жалюзийные стенки, которые выполняются из щитов, устанавливаемых под углом 45° к вертикали. Водораспределительное устройство выполняется в виде лотков с гидравлическими насадками и разбрызгивающими тарелочками или в виде системы труб с соплами. Плотность орошения в таких градирнях принимается от 2 до $4 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 .

Башенные градирни. Вытяжные башни градирен служат для создания естественной тяги за счет разности удельных весов наружного воздуха, поступающего в градирню, и нагретого и увлажненного воздуха, выходящего из градирни.

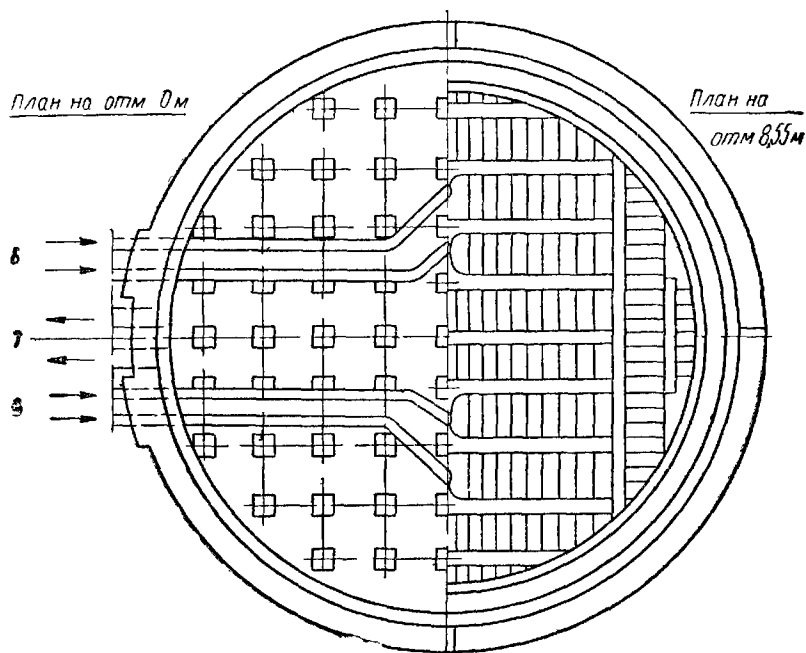
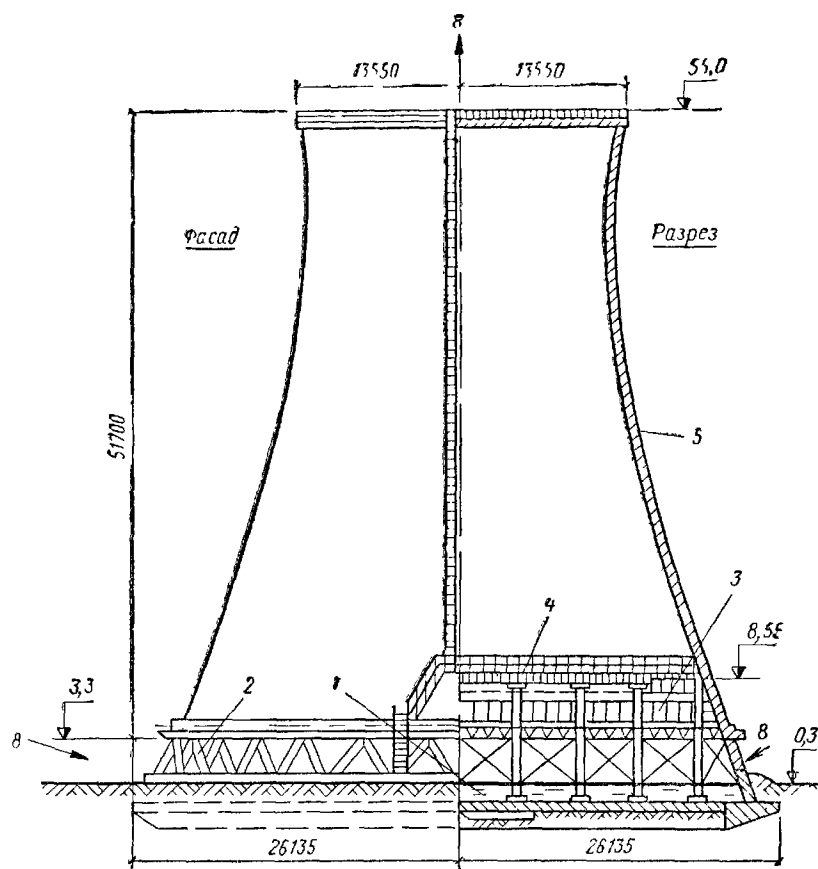


Рис. VII 14

1 — резервуар; 2 — железобетонная колонна; 3 — пленочный ороситель; 4 — водораспределительное устройство; 5 — вытяжная железобетонная башня; 6 — подвод теплой воды по стальным трубам; 7 — отвод охлажденной воды по железобетонным каналам; 8 — направление потока воздуха

При противоточных оросителях вытяжные башни сооружаются над ними. Поперечноточные оросители располагаются кольцом вокруг башни.

Площадь сечения башни должна составлять не менее 30—40% площади оросителя.

Башни градирен малой и средней производительности могут быть цилиндрическими или иметь форму усеченного конуса либо усеченной многогранной пирамиды.

Башни крупных градирен выполняются, как правило, в виде оболочек гиперболической формы (рис. VII.14), которая наиболее рациональна по условиям устойчивости и внутренней аэродинамики.

В зимнее время башни градирен находятся в тяжелых условиях воздействия влажного теплого воздуха на внутреннюю поверхность оболочки и морозного воздуха с наружной стороны. Поэтому к материалам, из которых сооружаются башни и их конструкции, предъявляются высокие требования.

В настоящее время применяются два основных технических решения: каркасно-обшивные и железобетонные монолитные башни.

В первых каркас выполняется из стальных элементов на сварке, а обшивка — из деревянных щитов, асбестоцементных волнистых листов или коррозионно-устойчивого листового алюминия. Деревянные щиты пропитываются антисептиками и антипиренами. Асбестоцементные листы пропитываются парафино-стеариновой эмульсией, а стыки между ними уплотняются битумной мастикой. Листовой алюминий крепится к каркасу на болтах с неметаллическими прокладками.

Тонкостенные оболочки железобетонных башен возводятся с применением переставной опалубки, которая перемещается с одного яруса бетонирования на другой с помощью специальных подъемных приспособлений.

В последние годы для возведения железобетонных оболочек стала применяться скользящая опалубка, которая обеспечивает скоростное строительство башен. Бетон подается бетононасосами или шахтными подъемниками и укладывается в оболочку с переставных подмостей, устраиваемых по окружности башни с внутренней стороны.

К качеству бетона предъявляются повышенные требования по плотности и морозостойкости. Внутренняя поверхность оболочки покрывается гидроизоляцией.

Башня обычно опирается на рамную конструкцию (колоннаду), между стойками которой проходит воздух, поступающий в градирню.

Внизу под оросителем градирни устраивается водосборный резервуар, выполняемый из монолитного железобетона с гидроизоляцией внутренней поверхности. Резервуар оборудуется трубопроводом с воронкой для перелива излишков воды, а также выпуском для его опорожнения.

Подлежащая охлаждению вода подается в водораспределительное устройство по стоякам, размещаемым обычно в центре градирни. Часто в связи с неравномерным распределением воздуха по площади противоточного оросителя применяют и дифференцированную плотность орошения, увеличивая гидравлическую нагрузку на периферии и уменьшая ее в центральной части оросителя. Зимой при снижении гидравлической нагрузки орошение центральной части полностью отключают.

В настоящее время в СССР широко применяются противоточные градирни производительностью до 30 000 м³/ч с гиперболическими башнями высотой до 100 м, выполняемыми из железобетона или металлического каркаса, обшитого алюминием. Оросители этих градирен площадью до 4000 м², как правило, монтируются из асбестоцементных

листов, устанавливаемых на каркасе из сборных железобетонных конструкций.

Запроектированы градирни производительностью $50\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ с площадью оросителя 6000 м^2 и высотой башни 135 м .

Вентиляторные градирни. Имеются два основных типа вентиляторных градирен: башенные, оборудованные вентиляторами большой производительности с использованием естественной тяги воздуха, и секцион-

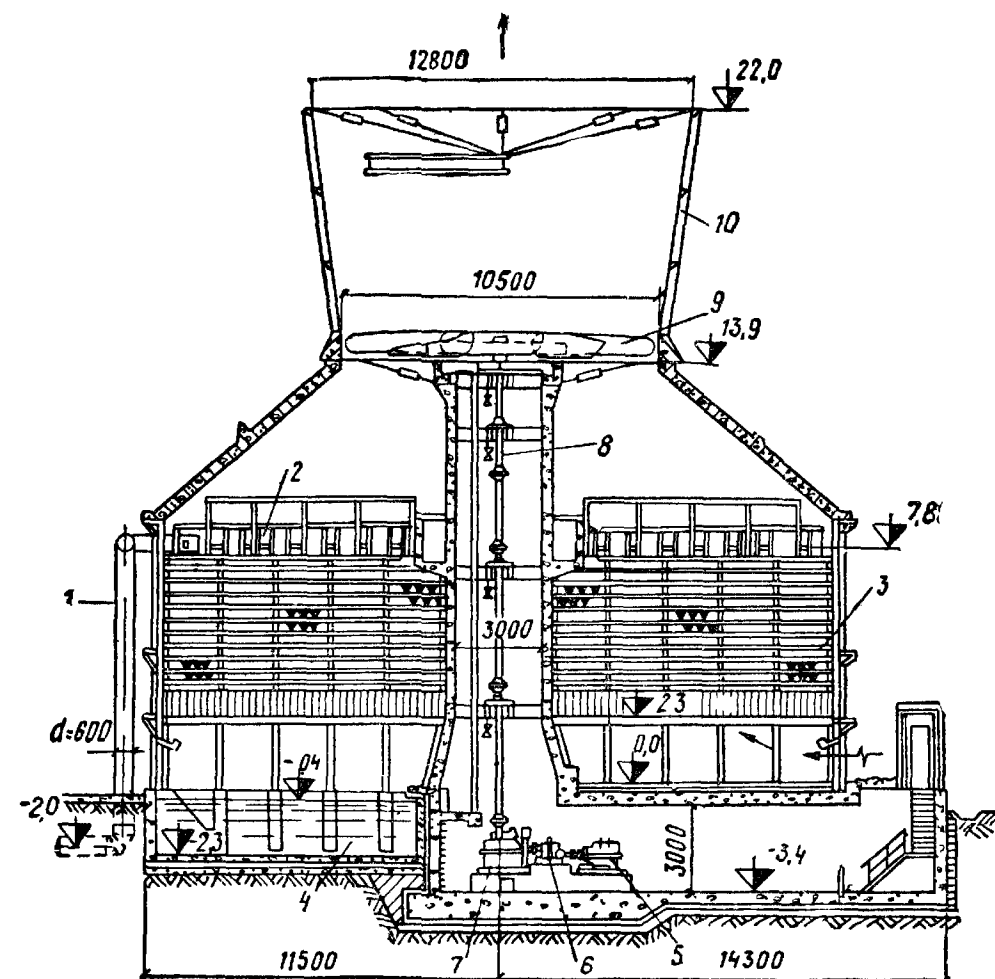


Рис VII 15

1 — водоподводящая труба, 2 — водораспределительное устройство, 3 — капельно-пленочный ороситель, 4 — водосборный бассейн, 5 — электродвигатель вентилятора, 6 — гидромуфта, 7 — редуктор, 8 — вертикальный вал вентилятора, 9 — лопасти вентилятора, 10 — вытяжная башня

ные, состоящие из ряда стандартных секций, каждая из которых обслуживается отдельным вентилятором.

Для уменьшения уноса капель воды за пределы градирни, связанного с повышенными скоростями движения воздуха в ее оросителе, применяют водоуловительные жалюзийные решетки.

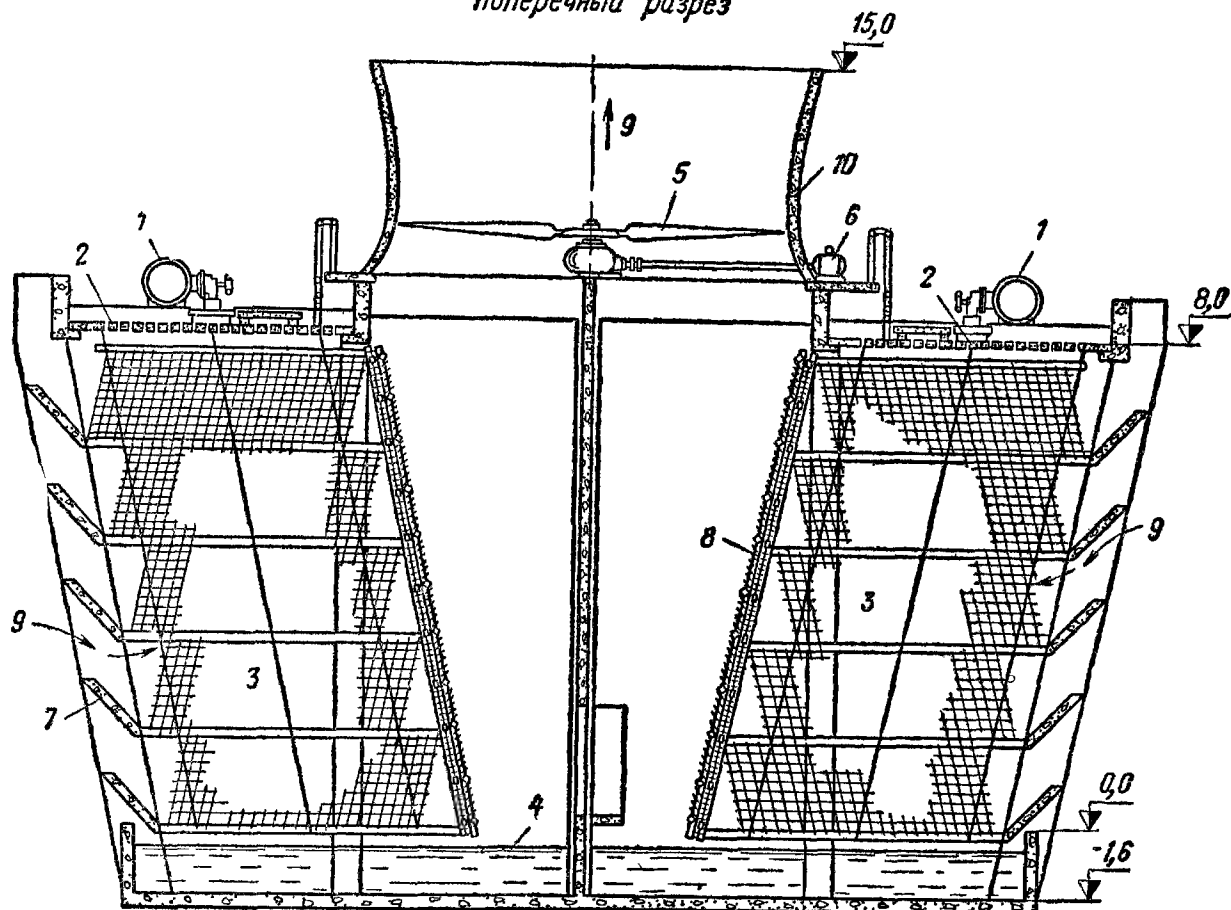
В горловине башен одновентиляторных градирен (рис. VII.15) над оросителем устанавливают большие вентиляторы с диаметром лопастей от 10 до 18 м. Вентиляторы приводятся в действие электродвигателем через редуктор и гидромуфту, служащую для изменения частоты вращения вентилятора. Снижением частоты вращения при благоприятных метеорологических условиях достигается сокращение расхода электроэнергии на привод вентиляторов.

Технологические процессы некоторых предприятий (например, химических цехов) требуют стабильной температуры охлаждающей воды. В этих случаях на линиях труб охлаждающей воды устанавливают терморелы, воздействующие через специальное реле на масляный насос, подающий масло в гидромуфту. Это дает возможность автоматически

регулировать частоту вращения вентиляторов и, следовательно, расход воздуха через градирню, поддерживая, таким образом, температуру охлаждающей воды на заданном уровне

Секционные вентиляторные градирни состоят из нескольких прямоугольных стандартных секций, в которые воздух входит с одной стороны или с двух сторон. Каждая секция оборудуется отсасывающим или нагнетательным вентилятором с лопастями диаметром до 10 м и электроприводом. Вентиляторы отсасывающего типа, которые устанавли-

Поперечный разрез



План

60000

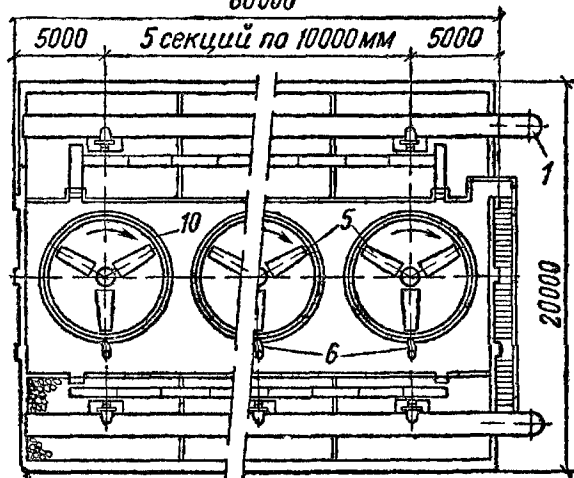


Рис VII 16

- 1 — водоподводящая труба 2 — водораспределительное устройство, 3 — капельный ороситель 4 — водосборный резервуар, 5 — вентилятор, 6 — электродвигатель вентилятора, 7 — воздухонаправляющие козырьки, 8 — водоулавливающие жалюзи, 9 — направление потока воздуха, 10 — вытяжной диффузор

ваются над оросителем, обеспечивают более равномерное распределение воздуха в оросителе и, находясь в зоне теплого воздуха, не обмерзают в зимнее время. Нагнетательные вентиляторы устанавливаются на входном отверстии градирни у ее основания.

На рис. VII.16 показана вентиляторная шестисекционная градирня с капельным оросителем, оборудованная отсасывающими вентилятора-

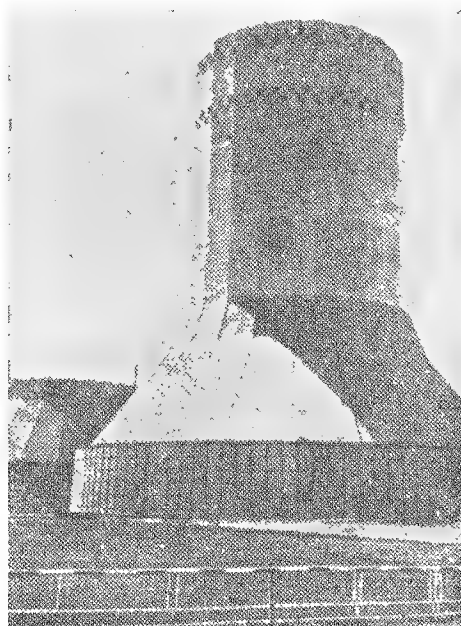
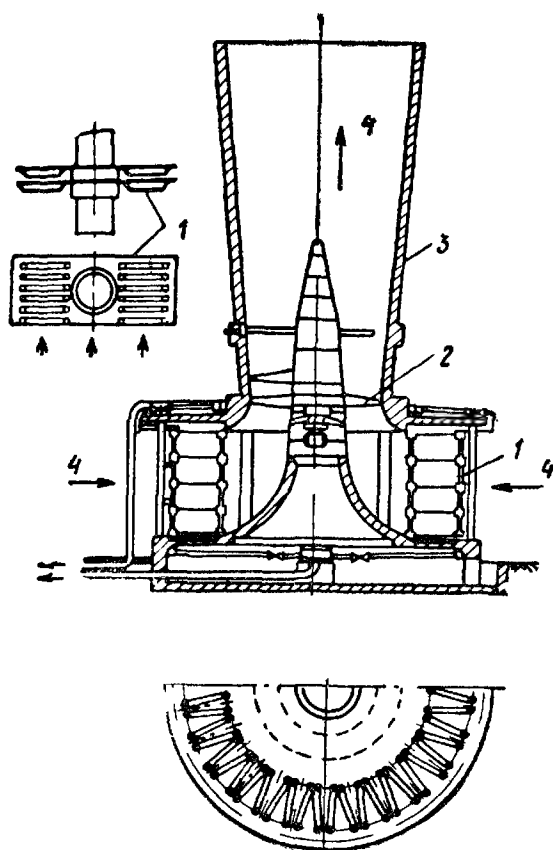


Рис. VII.18

Рис. VII 17

1 — радиаторы; 2 — вентилятор;
3 — диффузор, 4 — направление по-
тока воздуха

ми с диаметром лопастей 7 м. Размер каждой секции в плане 12×12 м. Производительность градирни $12\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ охлаждаемой воды. Смазка вентиляторов осуществляется смазочным агрегатом, установленным в специальном помещении вблизи градирни.

Радиаторные охладители. За последние годы в связи с растущим дефицитом пресной воды во многих промышленно развитых районах начали получать распространение радиаторные охладители, так называемые сухие градирни. В них охлаждаемая вода не имеет непосредственного контакта с воздухом, поэтому не происходит ее потерь на испарение и на унос капель воздушным потоком, которые имеют место в испарительных охладителях.

Удачная конструкция радиаторов в виде охлаждающих колонн, состоящих из алюминиевых трубок диаметром 15 мм с насаженными на них общими штампованными алюминиевыми ребрами толщиной 0,3 мм, разработана доктором Форго (Венгерская Народная Республика). Эти радиаторы изготавливаются стандартных размеров ($2,5 \times 5$ м) и устанавливаются в воздухоподводящих окнах сухой градирни.

Передача тепла от воды к воздуху происходит через стенку трубок и насаженные на трубки ребра при относительно низком коэффициенте теплопередачи, поэтому требуется большая поверхность теплопередачи. В связи с малой теплоемкостью воздуха требуется большой его расход.

Общая поверхность радиаторов (трубок и ребер), необходимая для охлаждения заданного расхода воды, определяется по формуле

$$F_p = \frac{Q(t_1 - t_2)}{\alpha_p(t_{cp} - \theta_{cp})},$$

где

Q — расход охлаждаемой воды в $\text{м}^3/\text{ч}$;

t_1 — температура воды на входе в радиаторный охладитель в $^{\circ}\text{C}$;

t_2 — температура охлажденной воды в $^{\circ}\text{C}$;

α_p — коэффициент теплопередачи через стенки трубок и ребра радиаторов, отнесенный к общей площади трубок и ребер, в ккал/(м²·ч·°С);
 $t_{cp}=(t_1+t_2)/2$ — средняя температура воды в охладителе в °С;
 $\theta_{cp}=(\theta_1+\theta_2)/2$ — средняя температура воздуха в охладителе (здесь θ_1 — температура атмосферного воздуха на входе в охладитель в °С; θ_2 — температура воздуха, выходящего из охладителя, в °С).

Коэффициент теплопередачи α_p зависит от материала и конструкции радиаторов, а также от скорости движения воды в трубках и скорости движения воздуха, омывающего радиатор. Он определяется опытным путем.

Расход воздуха определяется по формуле

$$L=\frac{Q(t_1-t_2)}{c(\theta_2-\theta_1)},$$

где L — расход воздуха в кг/ч;

c — теплоемкость воздуха, которая может быть принята постоянной и равной 0,25 ккал/(кг·°С).

На рис. VII.17 показана в разрезе радиаторная градирня (системы Геллера), оборудованная вентилятором.

На рис. VII.18 показан радиаторный охладитель, примененный на одной из крупных тепловых электростанций СССР (высота башни 120 м).

§ 152. ПОТЕРИ ВОДЫ В ОХЛАДИТЕЛЯХ

При охлаждении воды в испарительных охладителях часть ее теряется вследствие испарения. Величина потерь воды на испарение определяется по формуле

$$q=k\Delta t,$$

где q — количество испарившейся воды в процентах от циркуляционного расхода;

k — коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи испарением в общем процессе теплопередачи в охладителе; значения коэффициента k можно принимать по табл. VII.2;

Δt — перепад температур в °С.

Кроме потерь циркуляционной воды на испарение некоторое ее количество уносится вместе с воздухом за пределы охладителя. Потери на унос в процентах от циркуляционного расхода приведены в табл. VII.3.

Таблица VII.2

Сезон года	Коэффициент k	
	для водоохладителей	для брызгальных бассейнов и градирен
Лето	0,1—0,13	0,13—0,15
Весна и осень	0,08—0,09	0,11—0,12
Зима	0,06—0,07	0,09—0,1

Таблица VII.3

Тип охладителей	Потери воды в %	Тип охладителей	Потери воды в %
Брызгальные бассейны производительностью в м ³ /ч:		Градирни:	
до 500	2—3	открытые и брызгальные	0,5—1,5
более 500	1,5—2	башенные	0,5—1
		вентиляторные (при наличии водоуловителей)	0,3—0,5

§ 153. ВОДНЫЙ РЕЖИМ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В результате испарения в охладителях части воды повышается концентрация минеральных солей, растворенных в циркуляционной воде систем оборотного водоснабжения. При определенных концентрациях растворенные в воде соли временной жесткости (главным образом карбонат кальция CaCO_3) могут выпадать из нее в теплообменных аппаратах, что резко снижает коэффициент теплопередачи теплообменной аппаратуры и ухудшает ее эксплуатационные показатели. Для предотвращения выпадения солей жесткости производится постоянная продувка системы оборотного водоснабжения, т. е. удаление из нее части циркуляционной воды.

Потери воды на продувку, унос и испарение должны быть компенсированы подачей в систему свежей (добавочной) воды.

Солевое содержание циркуляционной воды стабилизируется, если количество солей, удаляемых из системы при продувке и в результате уноса воды из охладителей, будет равно количеству солей, приносимых с добавочной водой:

$$C_{\text{доб}}(p_1 + p_2 + p_3) = C_{\text{цирк}}(p_2 + p_3),$$

где $C_{\text{доб}}$ и $C_{\text{цирк}}$ — концентрация солей жесткости соответственно в добавочной и циркуляционной воде в мг-экв/л;

p_1 — потери воды на испарение в охладителях в %;

p_2 — потери воды на унос с воздухом в %;

p_3 — потери воды, сбрасываемой для продувки системы (продувочный расход), в %.

Если концентрацию солей жесткости в циркуляционной системе принять максимально допустимой¹, то из приведенного равенства определится минимально необходимый продувочный расход:

$$p_3 = \frac{C_{\text{доб}} P}{C_{\text{цирк-макс}}} - p_2,$$

где $P = p_1 + p_2 + p_3$ — суммарный расход добавочной воды в % от расхода циркуляционной воды.

Продувка системы эффективна лишь в том случае, когда жесткость добавочной воды значительно ниже жесткости, допустимой по условию невыпадения солей при нагревании циркуляционной воды в теплообменной аппаратуре. В противном случае потребуются настолько большой расход добавочной воды, что подача ее окажется неэкономичной и выгоднее будет применить химическую обработку воды (фосфатирование, подкисление, умягчение или рекарбонизацию).

Кроме солей жесткости в трубках теплообменных аппаратов могут отлагаться продукты кислородной коррозии, механические взвеси и биологические организмы, содержащиеся в воде, что также резко снижает коэффициент теплопередачи трубок. Поэтому необходимо принимать меры по предотвращению проникания в теплообменные аппараты механических и биологических загрязнений.

Очистка поступающей в систему добавочной воды от механических примесей осуществляется, как правило, с помощью сеток, а иногда с помощью отстойников, механических или песчаных фильтров.

Сравнительно высокая в течение всего года температура циркуляционной воды в системах оборотного водоснабжения с градирнями или брызгальными бассейнами создает благоприятные условия для разви-

¹ Методика определения максимально допустимой концентрации солей жесткости в циркуляционной воде приведена в СНиП II-Г.3-62, п. 5.

тия поступающих вместе с добавочной водой организмов, таких, как грибки (плесени), водоросли, бактерии (железобактерии, серобактерии) и др. Эти организмы отлагаются и развиваются в трубках теплообменников, а также в водоводах и на оросителях градирен.

Для борьбы с биологическим обрастанием применяют обработку циркуляционной воды хлором. Хлорирование ведется периодически по 30 мин с интервалами в 3—12 ч дозами от 1,5 до 7,5 мг/л в зависимости от качества воды.

Для борьбы с обрастанием водорослями воду обрабатывают медным купоросом 2—3 раза в месяц по 1—2 ч дозами от 4 до 6 мг/л.

Для борьбы с бактериальным обрастанием одновременно с введением медного купороса проводят дополнительное хлорирование воды дозами 2 мг/л при продолжительности хлорирования 30—40 мин.

В системах оборотного водоснабжения с водохранилищами-охладителями биологическое загрязнение трубок теплообменных аппаратов связано с прониканием в трубки планктонных водорослей («цветение» воды). Наблюдения показывают, что цветение воды распространяется на глубину до 2—3 м от поверхности, поэтому для предотвращения или ослабления биологического загрязнения трубок теплообменных аппаратов следует организовывать забор охлажденной воды из водохранилища с глубины более 3 м.

Водный баланс водохранилища-охладителя определяется притоком или подкачкой в него свежей воды, фильтрацией через ложе пруда, тело плотины и неплотности затворов, естественным испарением, дополнительным испарением от подогрева циркуляционной воды и безвозвратными отборами на промышленные и питьевые нужды.

Указания о подсчетах размеров естественного испарения и фильтрации приводятся в специальных курсах.

При проектировании водохранилища-охладителя составляется прогноз его солевого режима. Если водохранилище непроточное или слабопроточное, приходится во избежание недопустимого увеличения минерализации воды осуществлять его продувку. Рационально сбрасывать в целях продувки часть воды из глубинных наиболее минерализованных слоев водохранилища.

§ 154. ВЫБОР ТИПА ОХЛАДИТЕЛЕЙ

Выбор типа охладителей производится путем технико-экономического сравнения различных типов с учетом показателей работы снабжаемого водой оборудования и требований технологических процессов промышленных предприятий к температуре охлаждающей воды. При сравнении учитываются также гидрологические, метеорологические, геологические и топографические условия, качество и стоимость добавочной воды, наличие строительных материалов.

Ниже рассматриваются некоторые характерные особенности охладителей, облегчающие выбор их типа.

Водохранилища-охладители. Охлаждение циркуляционной воды в водохранилищах применяется преимущественно при возможности использования для этой цели естественных водоемов или водохранилищ общего назначения. Если их нет, следует проверить технико-экономическую целесообразность создания специальных водохранилищ-охладителей на водотоках или наливных водохранилищ (вне водотоков), питаемых из внешних источников.

Водохранилища-охладители обеспечивают в течение всего года

более низкие температуры охлаждающей воды, чем брызгальные бассейны и градирни с естественной тягой, а в зимние и весенне-осенние месяцы даже более низкие температуры, чем вентиляторные градирни.

Так как водохранилища-охладители являются одновременно регуляторами поверхностного стока, они могут обеспечить надежное обратное водоснабжение мощных тепловых электростанций и крупных промышленных предприятий даже при незначительных водных ресурсах.

Водохранилища-охладители просты в эксплуатации даже в зимнее время, когда эксплуатация охладителей других типов осложняется из-за их обмерзания. При их применении нет необходимости подавать воду на значительную высоту, как при применении градирен, или создавать напор для разбрызгивания воды, как при применении брызгальных бассейнов, что сокращает расход электроэнергии на привод циркуляционных насосов.

Создание специальных водохранилищ-охладителей требует наличия большой площади и значительных капитальных затрат на сооружение плотины и подготовку ложа водохранилища. Кроме того, большие затраты необходимы при сносе строений и занятии сельскохозяйственных угодий. В то же время водохранилища-охладители могут быть использованы для разведения рыбы, орошения, водного транспорта и т. п.

Брызгальные устройства. Брызгальные бассейны требуют сравнительно небольших затрат на их сооружение и просты в эксплуатации. Однако они обладают весьма низкой охлаждающей способностью, особенно в районах со слабыми ветрами и продолжительными штилями в летнее время. Для их размещения требуются большие спланированные площадки.

Потери воды в брызгальных бассейнах больше, чем в градирнях, из-за значительного уноса брызг ветром.

Брызгальные бассейны применяют как основные охладители в системах обратного водоснабжения при условии, когда не требуется низкой и постоянной температуры охлаждающей воды.

В качестве дополнительных охладителей их размещают над водохранилищами-охладителями для постоянной или периодической работы в жаркие периоды в целях снижения температуры охлаждающей воды.

Брызгальные устройства могут применяться также для частичного охлаждения воды, сбрасываемой от промышленного предприятия в реку или водохранилище общего назначения, с целью уменьшения «теплового загрязнения» водоема.

Открытые градирни. Открытые брызгальные градирни обычно применяют при небольших расходах охлаждаемой воды — до 300 м³/ч. Они могут размещаться даже на крышах зданий, например в системах кондиционирования воздуха.

Их недостатком является низкий охладительный эффект, который, так же как и в брызгальных бассейнах зависит от силы ветра. Открытые капельные градирни обладают несколько большей охладительной способностью и применяются для расходов воды до 1000 м³/ч, например при водоснабжении дизельных и компрессорных установок, которые не требуют постоянства температуры охлаждающей воды.

Башенные градирни. Башенные градирни благодаря тяге воздуха, создаваемой башней, обеспечивают более устойчивое охлаждение и более низкие температуры воды, чем открытые градирни и брызгальные бассейны. Допуская большую плотность орошения, они могут быть компактно размещены на площадке промышленного предприятия. Наличие высоких башен позволяет размещать их на небольших расстояниях от производственных зданий и сооружений.

Башенные градирни могут применяться для охлаждения как малых, так и больших расходов воды; запроектированы градирни производительностью до 50 000 м³/ч.

Недостатками башенных градирен являются высокая строительная стоимость и сложность их сооружения.

Если на градирнях охлаждается чистая вода, наиболее экономично применение оросителя пленочного типа. При наличии в охлаждаемой воде взвесей и нефтепродуктов пленочные оросители не рекомендуются из-за возможности засорения промежутков между щитами. В таких случаях приходится применять капельные оросители, хотя они допускают гидравлическую нагрузку, примерно в 1,5 раза меньшую, чем пленочные, при том же охлаждающем эффекте.

Вентиляторные градирни. Вентиляторные градирни обеспечивают наиболее глубокое и устойчивое охлаждение воды.

В летнее время они охлаждают воду до температур, более низких, чем охладители других типов. При применении вентиляторных градирен возможно регулирование температуры охлаждающей воды путем изменения числа оборотов или отключения отдельных вентиляторов.

По сравнению с башенными вентиляторные градирни имеют обычно меньшую строительную стоимость и допускают большую плотность орошения, что позволяет еще более компактно размещать их на площадках промышленных предприятий.

Однако работа вентиляторов требует большого расхода электроэнергии, а эксплуатация механического и электрического оборудования вентиляторных градирен довольно сложна. Кроме того, отсутствие у вентиляторных градирен высоких башен приводит к тому, что увлажненный воздух из градирен распространяется низко над землей, образуя туман и вызывая обледенение окружающих предметов. Поэтому применение вентиляторных градирен оказывается экономически целесообразным лишь в случае, когда технологические процессы предприятий требуют низкой и стабильной температуры охлаждающей воды, а также в районах с жарким и влажным климатом.

Радиаторные охладители. Применение радиаторных охладителей (сухих градирен) дает возможность сократить до минимума потери воды на промышленном предприятии. Качество охлаждаемой в них воды не изменяется, как это имеет место в испарительных охладителях, где наряду с повышением минерализации воды происходит ее загрязнение пылью и газами, содержащимися в воздухе.

Однако сухие градирни по сравнению с испарительными требуют в несколько раз большего расхода воздуха, поэтому их габариты значительно больше, а стоимость выше, чем у испарительных градирен. Кроме того, в летние жаркие дни они не могут охладить воду до таких низких температур, какие могут обеспечить испарительные охладители. Поэтому применение сухих градирен может быть оправдано только в тех случаях, когда подача добавочной воды для испарительных охладителей невозможна или обходится слишком дорого.

Глава 31

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

§ 155. КОНДЕНСАТОРЫ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Тепловая энергетика производит 85% всей вырабатываемой в нашей стране электроэнергии и развивается за счет ввода в действие мощных электростанций с крупными энергоблоками, работающими на

высоких и сверхвысоких параметрах пара: давление 130—240 кгс/см², температура 535—565° С.

В настоящее время действуют конденсационные электростанции (ГРЭС) мощностью 3000 МВт с энергоблоками по 200, 300 и 800 МВт каждый.

Введены в действие головные образцы энергоблоков мощностью 500 и 800 МВт, проектируется блок 1200 МВт. В IX пятилетке развернулось строительство ГРЭС мощностью 3600 МВт и атомных электростанций мощностью 2000 МВт.

Теплофикационные станции (ТЭЦ) в крупных городах оборудуются турбинами по 100 и 250 МВт, мощность ТЭЦ достигает 1000 МВт.

Электрические генераторы, с помощью которых механическая энергия превращается в электрическую, приводятся в действие паровыми или газовыми турбинами. Электрические генераторы небольшой мощности (до 1000 кВт) могут приводиться в действие двигателями внутреннего сгорания.

Пар для паровых турбин вырабатывается в котлах, где сжигают уголь, торф, газ или нефтепродукты. На атомных электростанциях роль котлов выполняют атомные реакторы.

Схема простейшей конденсационной электростанции показана на рис. VII.19. Из парового котла 1 пар поступает в турбину 2, которая приводит в действие электрический генератор 3. Отработанный пар после турбины направляется в конденсатор 4, в который подается также охлаждающая вода циркуляционным насосом 5, в результате чего происходит конденсация пара. Конденсат перекачивается в бак 6 питательной воды конденсатным насосом 7. В этот же бак подается добавочная химически очищенная или обессоленная вода 8 для восполнения потерь. В паровой котел вода подается из бака 6 питательным насосом 9.

Коэффициент полезного действия турбины можно увеличить, повысив температуру и давление пара, поступающего в турбину, или снизив температуру и давление насыщенного пара на выходе из турбины. Последнее достигается путем конденсации выходящего из турбины пара, которая происходит в установленном для этой цели конденсаторе при подаче в него охлаждающей воды.

Поверхностный конденсатор состоит из пучков трубок диаметром 17—25 мм, длиной в несколько метров, которые выполняются из металлов, хорошо проводящих тепло (латунь, мельхиор). Концы трубок ввальцованы в металлические трубные доски, помещенные в корпусе конденсатора, который представляет собой металлическую емкость. Пространства между трубными досками и торцами корпуса образуют водяные камеры. В одноходовых конденсаторах вода поступает в переднюю водяную камеру, проходит через трубки и выходит в заднюю камеру, из которой отводится сливными трубами. В двухходовых конденсаторах вода дважды проходит по длине корпуса и отводится из передней камеры. В трехходовых конденсаторах вода проходит корпус три раза.

Выходящий из турбины пар поступает в паровое пространство конденсатора, заключенное между трубными досками, и конденсируется на внешней поверхности трубок, внутри которых проходит охлаждающая вода. Сконденсировавшийся пар (конденсат) собирается в нижней

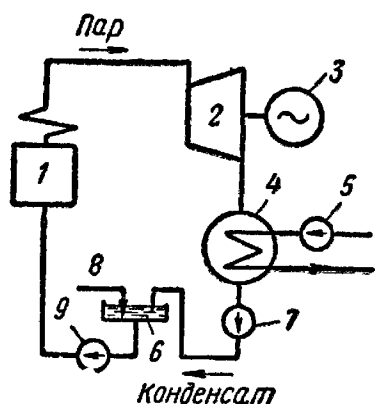


Рис. VII.19

части корпуса конденсатора и отводится конденсатным насосом для повторного использования.

В тех случаях, когда пар не подлежит повторному использованию, например на геотермальных электростанциях, турбины оборудуются конденсаторами смешивающего типа. В них охлаждающая вода разбрызгивается при помощи специальных сопел; выходящий из турбины пар конденсируется на поверхности брызг и смешивается с охлаждающей водой.

Такие конденсаторы применяются также при использовании на тепловых электростанциях воздушно-конденсационных установок системы проф. Геллера (Венгерская Народная Республика). В этой установке в конденсатор смешивающего типа подается от радиаторного охладителя (сухой градирни) химически очищенная охлаждающая вода. После смешивания в конденсаторе с выходящим из турбины паром она нагревается и снова направляется на сухую градирню; небольшая часть этой химически очищенной воды направляется в котел. Главным преимуществом установки системы Геллера является почти полное отсутствие потерь воды.

Давление пара на выходе из турбины зависит от температуры, при которой происходит его конденсация. Чем ниже температура охлаждающей воды, подаваемой в конденсатор, тем ниже давление пара, выходящего из турбины (глубже вакуум в конденсаторе).

Зависимость давления в конденсаторе и к. п. д. турбины от температуры конденсации пара характеризуется цифрами, приведенными в табл. VII.4.

Таблица VII 4

Показатели	Температура конденсации пара в °С				
	100	60	40	30	25
Давление в конденсаторе в кгс/см ²	1,033	0,203	0,075	0,043	0,032
Вакуум в конденсаторе в % от абсолютного вакуума	—	79,7	92,5	95,7	96,8
Термический к. п. д. турбины	0,325	0,38	0,408	0,422	0,429

Из табл. VII 4 видно, что снижение температуры конденсации выходящего из турбины пара на 10° (с 40 до 30° С) и связанное с этим углубление вакуума на 3,2% приводит к повышению термического к. п. д. турбины на 1,4%, что равносильно увеличению мощности турбины примерно на 2,7% при том же расходе пара и топлива.

Температура, при которой происходит конденсация выходящего из турбины пара, определяется по формуле

$$t_k = t_2 + \Delta t + \delta t,$$

где t_k — температура конденсации отработавшего в турбине пара в °С;
 t_2 — температура охлаждающей воды после конденсатора в °С;
 Δt — температурный перепад в °С, равный $t_2 - t_1$ (здесь t_1 — температура охлаждающей воды перед конденсатором);
 δt — температурный напор конденсатора в °С.

Из формулы следует, что температура охлаждающей воды, подаваемой в конденсатор, непосредственно влияет на температуру конденсации отработавшего в турбине пара и, следовательно, на глубину вакуума в конденсаторе и к. п. д. турбины. Кроме того, при повышении температуры охлаждающей воды сверх определенного значения снижа-

ется мощность, отдаваемая турбиной. Предельная температура охлаждающей воды, при которой турбина может работать на минимальную мощность, принимается обычно равной 33°C , а для турбин, изготовляемых для районов с тропическим климатом, $-36-40^{\circ}\text{C}$.

Температурный перепад определяется из уравнения теплового баланса конденсатора

$$D_k(i_k - t_k) = Q_k \Delta t,$$

где D_k — расход пара, поступающего в конденсатор;

i_k — теплосодержание пара, поступающего в конденсатор;

t_k — теплосодержание конденсата, численно равное его температуре;

$i_k - t_k$ — количество тепла, отдаваемое паром охлаждающей воде;

Q_k — расход охлаждающей воды, поступающей в конденсатор.

Обозначая Q_k/D_k через m , получим

$$\Delta t = \frac{i_k - t_k}{m}.$$

Величина m называется кратностью охлаждения. Ее увеличение приводит к повышению к. п. д. турбины, но требует в то же время увеличения расхода охлаждающей воды и электроэнергии на ее перекачку. Для двухходовых конденсаторов оптимальная кратность охлаждения принимается в зависимости от температуры охлаждающей воды и напора циркуляционных насосов от 30 до 70.

Величина температурного напора конденсатора зависит от коэффициента теплопередачи его трубок, на который огромное влияние оказывает состояние поверхности трубок — их чистота. На стенках трубок могут образовываться отложения механического, биологического и химического происхождения, что связано с качеством охлаждающей воды. В результате образования таких отложений коэффициент теплопередачи трубок резко падает, а температурный напор конденсатора возрастает. Например, наличие органических отложений толщиной всего 0,1 мм может привести к повышению температурного напора конденсатора на 10°C . Кроме того, отложения в трубках конденсаторов и циркуляционных трубопроводах увеличивают гидравлическое сопротивление системы.

Из сказанного следует, что хотя для охлаждения конденсаторов используется техническая вода, качество которой не нормируется, необходимо принимать все возможные меры по снижению ее температуры и улучшению качества.

§ 156. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Основными водопользователями на тепловой электростанции являются конденсаторы паровых турбин. Кроме них на электростанциях имеется целый ряд значительно более мелких теплообменных аппаратов, к которым подводится охлаждающая вода: воздухоохладители или газоохладители генераторов, воздухоохладители питательных электронасосов и возбuditелей генераторов, маслоохладители систем смазки механизмов.

Каждый такой теплообменник представляет собой батарею латунных или мельхиоровых трубок, заключенную в металлический корпус. По трубкам циркулирует охлаждающая вода, а между трубками проходит охлаждаемый воздух, газ или масло.

Обмотки электрогенераторов охлаждаются воздухом или газом (водородом), который циркулирует в замкнутом цикле системы вентиляции и охлаждается водой в воздухо- или газоохладителях. Температура

подводимого к обмоткам генератора воздуха или газа не должна превышать $35\text{--}37^\circ\text{C}$ во избежание снижения мощности генератора. Следовательно, охлаждающая вода, подаваемая в воздухо- или газоохладители, должна иметь температуру не выше $30\text{--}33^\circ\text{C}$. Поэтому в системах оборотного водоснабжения тепловых электростанций с градирнями в некоторых случаях предусматривается подача на воздухо- или газоохладители свежей воды, которая в летнее время имеет более низкую температуру, чем циркуляционная вода. Расход воды, подаваемой на воздухо- или газоохладители генераторов, составляет $1\text{--}2\%$ общего расхода охлаждающей воды на электростанции.

Охлаждение турбинного масла, циркулирующего в системах смазки подшипников и регулирующих механизмов турбогенераторов, происходит в маслоохладителях. Расход воды, подаваемой на маслоохладители, составляет $1\text{--}1,5\%$ общего расхода охлаждающей воды. Во избежание попадания воды в турбинное масло ее давление в маслоохладителе должно быть несколько меньше минимального давления масла.

Ввиду того что вода в воздухо-, газо- и маслоохладителях не загрязняется и нагревается лишь на $2\text{--}4^\circ$, она может быть повторно использована для охлаждения конденсаторов.

Иногда для охлаждения воздухо-, газо- и маслоохладителей применяют конденсат, который циркулирует в замкнутом контуре и охлаждается водой в специальном теплообменнике.

На тепловой электростанции вода расходуется также на охлаждение подшипников механизмов, на золоулавливание, гидравлическое удаление золы и шлаков, а также на обеспыливание трактов подачи дробленого и размолотого твердого топлива.

Расход воды на охлаждение подшипников питательных и конденсатных насосов, угольных мельниц, дымососов и других вспомогательных механизмов относительно невелик. Однако даже кратковременное прекращение подачи воды к подшипникам недопустимо.

Электростанции, работающие на твердом топливе, оборудуются установками для улавливания золы из дымовых газов. В некоторых случаях в качестве золоуловителей применяются мокрые скрубберы. Под действием центробежной силы частицы золы из закрученных спиралью дымовых газов сбрасываются на стенки скрубберов и смываются водой.

Удаление шлака из-под котлов и золы из золоуловителей на большинстве электростанций производится гидравлическим способом. Расход воды для этой цели зависит от вида топлива, способа его сжигания, механических свойств золы и шлака. Для нужд гидрозолоудаления используется вода, прошедшая через конденсаторы, а также вода, сбрасываемая после охлаждения подшипников, и другие сбросные воды.

На смыв 1 т шлака требуется от 20 до 40 м^3 воды, на смыв 1 т золы — от 8 до 12 м^3 воды. Шлак и зола, смешанные с водой (пульпа), транспортируются самотеком или с помощью побудительных сопел к багерным насосам, которые перекачивают пульпу по стальным трубам на золоотвалы. При раздельном удалении золы и шлаков золовая пульпа перекачивается шламовыми насосами. Если золоотвалы расположены значительно ниже котельной, возможно транспортирование пульпы к ним самотеком.

Золо- и шлакоотвалы проектируются как пруды-отстойники непрерывного действия. Они организуются, как правило, на неиспользуемых участках земли вблизи электростанции, например в оврагах. Пруд образуется путем перегораживания оврага земляной дамбой или обвалования равнинного участка. В этот пруд сбрасывается золовая пульпа. Зола и шлак осаждаются в пруде, постепенно его заполняя, а осветленная

вода возвращается в котельную электростанции с целью повторного использования для гидротранспорта золошлаков.

В институте Теплоэлектропроект разработан метод возведения ограждающих дамб распластанного профиля из золошлаков путем намыва их на дренажную систему, укладываемую в основании дамб. В этом случае золопроводы прокладываются на эстакаде над дренажной системой и золовая пульпа выпускается через небольшие отверстия в их дне сосредоточенно по всему фронту намыва. Вода профильтровывается в дренажи, а золошлаки осаждаются на поверхности земли, постепенно образуя дамбу распластанного профиля.

В таких случаях на золопроводах устанавливаются гидравлические классификаторы, которые отделяют крупные куски шлака (во избежание засорения выпускных отверстий золопроводов) и наиболее мелкие частицы золы (во избежание ухудшения фильтрации в дренажную систему), направляя их в центральную часть отвала. В центральной части золоотвала образуется пруд-отстойник, в котором осаждаются наиболее мелкие частицы. Этот метод не требует возведения дорогостоящих земляных ограждающих дамб и позволяет сбрасывать в золоотвал загрязненные производственные стоки от электростанций, обеспечивая полное осветление возвращаемой из золоотвала воды.

В золоотвалах часть воды теряется в результате испарения и фильтрации в грунт. Эти потери принимаются обычно в размере 10—20% расхода поступающей в золоотвал воды.

Вода, используемая для питания паровых котлов, должна быть предварительно очищена от грубодисперсных и коллоидных примесей накипеобразующих солей, а также освобождена от растворенного воздуха.

Восполнение потерь питательной воды котлов на электростанциях, работающих с давлением пара 90 кгс/см^2 и выше, должно производиться химически обессоленной водой или дистиллятом.

Химическое обессоливание воды применяется, если содержание в исходной воде анионов сильных минеральных кислот ($\text{SO}_4 + \text{Cl} + \text{NO}_3 + \text{NO}_2$) не превышает 7 мг-экв/л. В других случаях применяются испарители, в которых получается дистиллят.

На электростанциях с энергоблоками 200 тыс. квт и выше при восполнении потерь дистиллятом испарителей последние должны дополняться установкой для химического обессоливания дистиллята.

На электростанциях применяются следующие схемы химического обессоливания воды в зависимости от котлов, параметров пара в них и качества исходной воды:

двухступенчатое Н-катионирование с декарбонизацией и последующим ступенчато-противоточным анионированием;

двухступенчатое обессоливание с чередующимся Н — ОН-ионированием и декарбонизацией после анионитного фильтра первой ступени или после Н-катионитного фильтра второй ступени;

трехступенчатое химическое обессоливание с чередующимся Н — ОН-ионированием и декарбонизацией воды в соответствующем месте схемы, причем в качестве третьей ступени допускается применение фильтров смешанного действия.

Количество воды, требующееся для подпитки котлов на конденсационных электростанциях, составляет 1—2% расхода пара.

На ТЭЦ ввиду отборов пара на нужды промышленных предприятий требуется значительно большее количество воды для подпитки котлов. Кроме того, на ТЭЦ производится умягчение воды, подаваемой на горячее водоснабжение городов.

Суммарный расход воды на тепловой электростанции зависит от ее мощности, типа установленного оборудования, кратности охлаждения пара и температуры охлаждающей воды. Для современной мощной теплоэлектростанции, оборудованной, например, восьмью блоками по 300 тыс. кВт каждый, общий расход воды составляет приблизительно 300 тыс. м³/ч в летнее время и около 200 тыс. м³/ч зимой.

Удельный расход охлаждающей воды на 1 кВт установленной мощности тем меньше, чем выше начальные параметры пара, подаваемого из котла в турбину, и чем больше единичная мощность турбин. Так, при увеличении мощности турбин от 100 до 500 тыс. кВт и повышении давления пара с 90 до 240 кгс/см² удельный расход воды снижается с 0,17 до 0,10 м³/ч на 1 кВт установленной мощности.

Несмотря на снижение удельных расходов воды при повышении единичной мощности турбин, суммарные расходы воды для мощных электростанций достигают 100 м³/с и более. Водоприемные и очистные сооружения, насосные установки, водоводы и искусственные охладители представляют при таких расходах воды сооружения крупного масштаба. Иногда место для строительства электростанции выбирается исключительно из условий удобства снабжения ее водой, причем приходится соглашаться с удалением электростанции от потребителей энергии и источников топлива.

§ 157. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Водоснабжение тепловой электростанции может быть прямоточным, оборотным или смешанным.

При прямоточном водоснабжении отработавшая теплая вода сбрасывается в реку, водохранилище, озеро или море на таком расстоянии от водоприемного сооружения, чтобы исключить возможность попадания в него теплой воды. При низких температурах речной воды водоснабжение электростанций из реки может быть осуществлено по системе с подмешиванием к речной воде в маловодные периоды года отработавшей на электростанции теплой воды.

При применении системы прямоточного водоснабжения не требуются больших капиталовложений на строительство и обеспечиваются низкие и устойчивые температуры охлаждающей воды. Однако расходы воды, достаточные для прямоточного водоснабжения мощной электростанции, могут быть получены только из больших рек, на которых размещение тепловых электростанций по совокупности технико-экономических показателей (топливоснабжение, выдача электроэнергии) оправдывается лишь в редких случаях. Возможность размещения электростанций на реках ограничивается также повышенными требованиями к условиям сброса воды в водоемы, связанными с тем, что изменение температурного режима реки оказывает большое влияние на происходящие в ней биологические процессы. Поэтому крупная теплоэнергетика в дальнейшем будет развиваться преимущественно с применением оборотного водоснабжения.

Наиболее выгодной системой оборотного водоснабжения для конденсационной электростанции является система с водохранилищем-охладителем. Однако возрастающая ценность земельных участков все чаще приводит к необходимости применения для охлаждения воды на ГРЭС градирен. В таких случаях может быть применена система воздушной конденсации с радиаторными охладителями (сухими градирнями), если в районе размещения ГРЭС не имеется источников, достаточных для подпитки системы оборотного водоснабжения.

На ТЭЦ, располагаемых, как правило, вблизи потребителей тепла в крупных городах, широко применяются системы оборотного водоснабжения с испарительными градирнями.

Существуют системы смешанного водоснабжения электростанции, когда параллельно с прямотоком в маловодные периоды включаются в работу охладители (водохранилище-охладитель, градирни или брызгальные установки) либо параллельно с водохранилищем — градирни или брызгальные установки.

Подача воды на электростанцию из реки, озера или водохранилища осуществляется блочными или центральными насосными станциями либо самотеком.

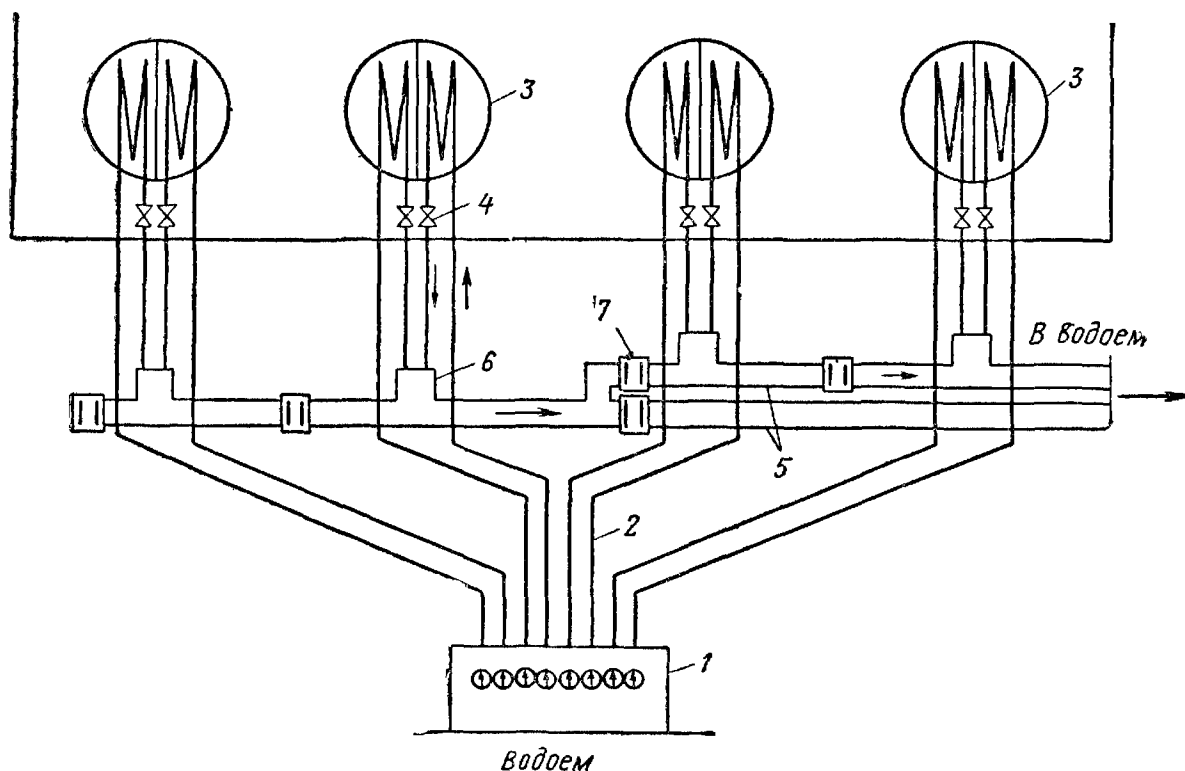


Рис. VII.20

1 — блочная береговая насосная станция; 2 — напорный водовод; 3 — конденсатор; 4 — задвижка на сливной линии конденсатора; 5 — отводящие каналы; 6 — сливной колодезь; 7 — переключательный колодезь

При схеме с блочными насосными станциями (рис. VII.20) на каждый блок (котел-турбина) устанавливают по два циркуляционных насоса. От каждого насоса к конденсатору турбины прокладывают отдельный водовод.

В качестве циркуляционных водоводов обычно применяют тонкостенные стальные сварные трубы с ребрами жесткости.

Блочные насосные станции располагают перед фронтом машинного зала электростанции: либо непосредственно на берегу источника водоснабжения, либо на самотечном канале, подводящем воду от источника. Последнюю схему применяют при небольшом превышении площадки электростанции над уровнем воды в источнике.

При размещении на берегу источника водоснабжения блочные насосные станции совмещают с водоприемниками, в которых устанавливают водоочистные решетки и вращающиеся сетки.

Насосы могут быть установлены по блочной схеме также в машинном отделении электростанции непосредственно около конденсаторов турбин. В этом случае на канале, подводящем воду из источника, уста-

навливается водоприемник с водоочистными вращающимися сетками.

При значительном удалении площадки электростанции от источника водоснабжения или большой амплитуде колебаний уровня воды в водохранилище многолетнего регулирования применяют двухступенчатую перекачку охлаждающей воды; береговая насосная станция первого подъема подает воду в канал, подводящий ее на площадку электростанции, а к конденсаторам вода подается блочными насосами или насосами, установленными в машинном отделении электростанции.

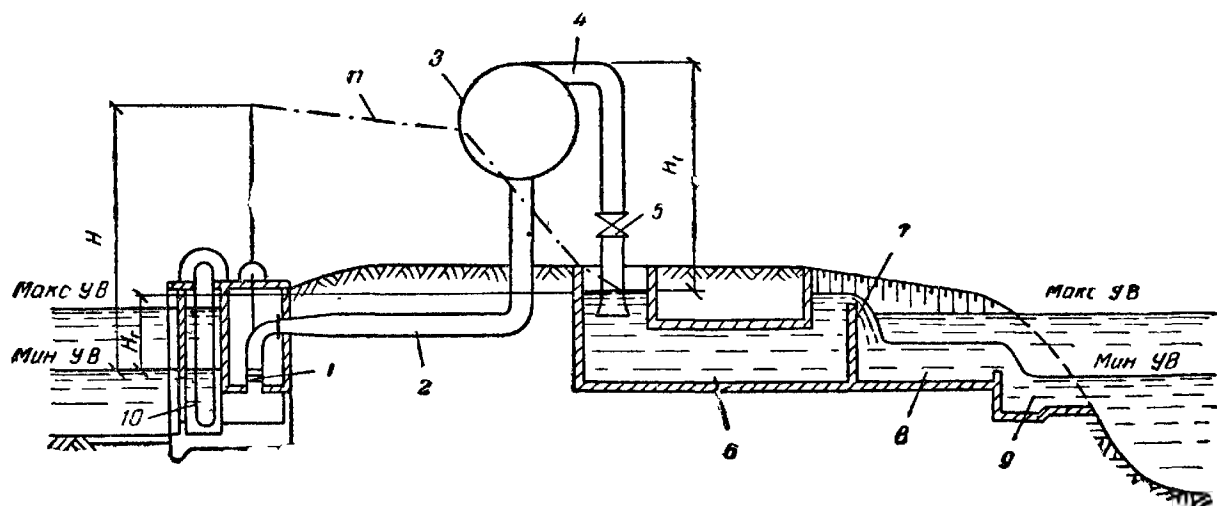


Рис. VII.21

1 — циркуляционный насос; 2 — напорный водовод; 3 — конденсатор; 4 — сливная труба; 5 — задвижка; 6 — закрытый отводящий канал; 7 — переливная стенка; 8 — открытый отводящий канал; 9 — перепад; 10 — водоочистная вращающаяся сетка; 11 — пьезометрическая линия; H — напор насоса, H_r — геодезическая высота подачи воды; H_c — высота сифона

При блочной схеме обратные клапаны и задвижки на напорных линиях не ставят, задвижки устанавливают лишь на сливной линии конденсатора (см. рис. VII.20 и VII.21). Такая схема наиболее надежна и вместе с тем экономична, так как гидравлические потери в системе сводятся к минимуму. Для возможности регулирования подачи воды при блочных схемах устанавливают осевые насосы с поворотными лопастями, а при глубоком регулировании — также и с двухскоростными двигателями.

На рис. VII.21 приведена вертикальная схема подачи воды в конденсатор. После прохождения через конденсаторы нагретая вода сбрасывается в общий для всех турбин отводящий канал. На территории электростанции этот канал выполняется закрытым из сборных железобетонных звеньев прямоугольного сечения размером до $4,2 \times 3$ м. Вне территории электростанции отводящий канал выполняется открытым трапециoidalного сечения.

При схеме с центральной береговой насосной станцией (рис. VII.22) охлаждающая вода подается от насосной станции к машинному отделению электростанции по двум или нескольким напорным магистральным водоводам, диаметры которых достигают 3—3,5 м. К каждому конденсатору устраивают отводы от двух магистральных водоводов. Центральные насосные станции сооружают в одном блоке с водоприемниками. В них устанавливают не менее четырех насосов суммарной производительностью, равной максимальному расчетному расходу охлаждающей воды (без резерва); насосы работают параллельно на разветвленную сеть. Такое расположение насосов обеспечивает их взаимное резервирование и возможность регулирования подачи воды изменением не только

угла установки лопастей, но и числа работающих насосов. При морском водоснабжении устанавливают один резервный насос.

Недостатками такой схемы являются большое количество арматуры (обратные клапаны, задвижки на напорных линиях и перемычках) и повышенные гидравлические потери в разветвленной сети.

При значительном превышении площадки электростанции над уровнем воды в источнике водоснабжения может быть предусмотрено использование энергии сбрасываемой отработавшей воды (рекуперация). Рекуперация осуществляется либо путем устройства гидроэлектростанции

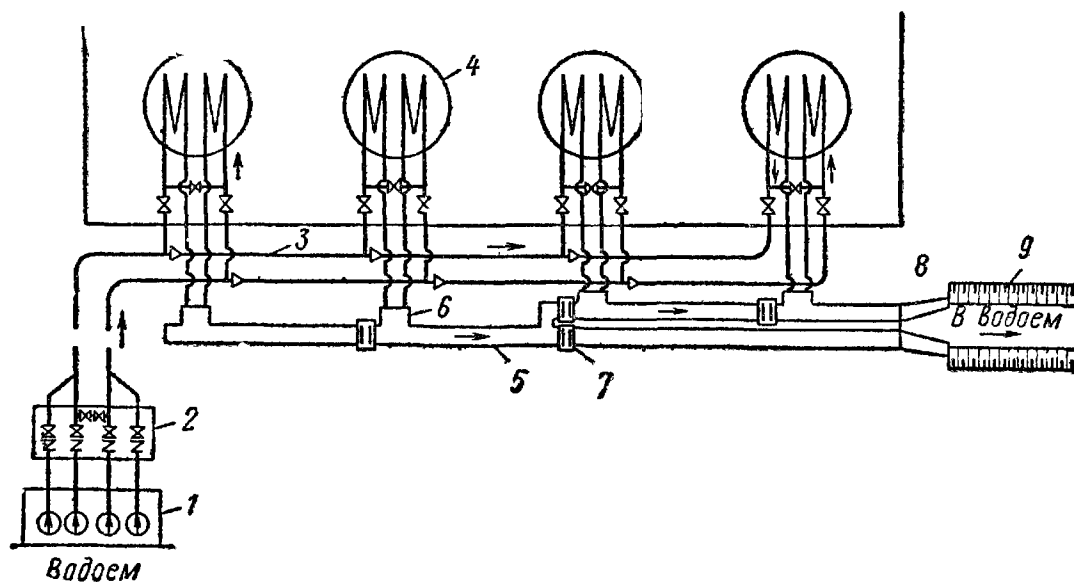


Рис VII 22

1 — центральная береговая насосная станция; 2 — переключательная камера; 3 — напорный водовод, 4 — конденсатор, 5 — закрытый отводящий канал, 6 — сливной колодец, 7 — переключательный колодец, 8 — переливная стенка, 9 — открытый отводящий канал

на отводящем канале, либо применением гидротурбин для привода части циркуляционных насосов.

При расположении электростанции ниже плотины может быть осуществлена схема водоснабжения без циркуляционных насосов, если разница уровней в верхнем и нижнем бьефах плотины достаточна для преодоления гидравлического сопротивления в конденсаторе и водоводах. При такой схеме вода из верхнего бьефа подводится к конденсаторам по напорным трубам и сбрасывается после конденсаторов в нижний бьеф. Если при этом расходы реки недостаточны для прямоточного водоснабжения электростанции, может быть предусмотрена перекачка части отработавшей тепло воды из нижнего бьефа в верхний.

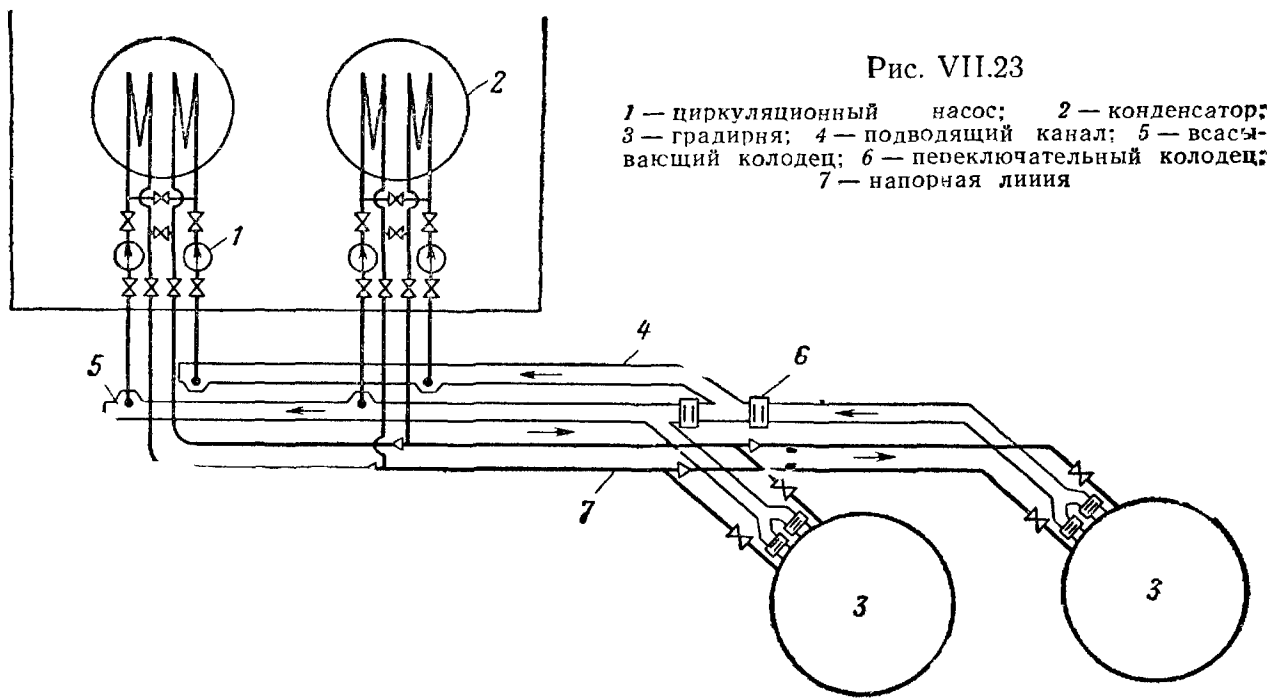
Самотечная схема может быть осуществлена также при больших уклонах реки путем сооружения деривационного канала с небольшим уклоном.

Если в отдельные периоды года из источника водоснабжения не могут быть получены достаточные расходы воды, но в то же время температура этой воды невысока, может быть применено последовательное включение конденсаторов, при котором вода, прошедшая через один конденсатор, подается затем в другой. Такую схему применяют иногда при расширении действующих электростанций. При последовательном включении конденсаторов неизбежно усложнение коммуникаций.

При системе оборотного водоснабжения с градирнями или брызгальными бассейнами циркуляционные насосы устанавливают, как правило,

в машинном отделении электростанции по два на каждую турбину (рис. VII.23). Приемные и обратные клапаны в этом случае не устанавливаются, но во избежание обезвоживания конденсатора предусматривают автоматическое закрытие напорной задвижки при остановке насоса.

В некоторых случаях циркуляционные насосы при системе оборотного водоснабжения располагают в центральной насосной станции.



Подвод воды от градирен или брызгальных бассейнов к циркуляционным насосам осуществляется, как правило, по закрытым железобетонным каналам, а подача теплой воды на охладители — по напорным линиям из стальных или железобетонных труб.

Конденсаторы паровых турбин обычно располагаются на значительной высоте над уровнем земли, поэтому в целях уменьшения геодезической высоты подачи воды насосами при системе прямоточного водоснабжения или при системе с водохранилищем используют сифон (см. рис. VII.21). Для этого сливную линию конденсатора выводят в сливной колодец под уровень воды в нем, и вода подается на отметку уровня воды в колодце. Высоту от этого уровня до верха конденсатора принимают во избежание срыва сифона обычно не более 8 м.

Для поддержания необходимого уровня воды в сливных колодцах на отводящих каналах сооружаются общие для всех турбин водосливные устройства с глухой переливной стенкой.

Кроме системы технического водоснабжения на тепловых электростанциях предусматривается система противопожарного водоснабжения, как правило, высокого давления, а также система хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Глава 32

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Процесс получения черных металлов состоит, как известно, из добычи и подготовки сырья и топлива, выплавки чугуна и стали, передела последней в прокатные профили и изделия. Топливом служит в основ-

ном кокс, получаемый из специальных углей на коксохимических заводах, а в последнее время — также природный газ.

Суммарное количество воды, расходуемой на 1 т стали, составляет 200—220 м³. Вода используется для охлаждения металлургических печей и конденсации пара, в качестве поглощающей и транспортирующей среды в сложных процессах обогащения сырья и топлива, а также при уборке окалины от прокатных станов, для очистки и охлаждения газов и других целей.

Ниже кратко рассматриваются методы использования воды на основных предприятиях черной металлургии и схемы их водоснабжения.

§ 158. РУДНИКИ, РУДООБОГАТИТЕЛЬНЫЕ И АГЛОМЕРАЦИОННЫЕ ФАБРИКИ

На рудниках вода расходуется на мокрое бурение забоев буровыми станками и перфораторами, обеспыливание забоев, поливку отвалов, обеспыливание бункеров погрузочных и разгрузочных площадок. На поверхности у шахт вода расходуется на охлаждение подшипников подъемных машин и дробилок, на охлаждение компрессоров и выпрямителей тока тяговых подстанций, в ремонтно-механических и бурозаправочных мастерских, на приготовление пара в котельных, а также на питьевые и хозяйственные нужды.

Указанные потребности в воде могут удовлетворяться из единого водопровода или из двух отдельных водопроводов — технической и питьевой воды. Для компрессоров и выпрямителей тока тяговых подстанций устраивается система оборотного водоснабжения с охлаждением отработавшей воды на градирне.

Общее потребление воды на 1 т добытой горной массы может составлять 0,07—0,7 м³, а при дроблении руды — до 1,7 м³, в том числе от 15 до 30% свежей воды. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды равен 3.

При гидравлической вскрыше карьеров (которая производится только в теплое время года) вскрышные породы размываются и транспортируются водой по трубам в гидроотвалы. Применяется оборот этой воды с ее осветлением в пруду-осветлителе (отстойнике). На эти цели потребляется от 8 до 24 м³ воды на 1 т добытой горной массы (руды), в том числе 15% и более добавочной воды, которая может быть получена из шахтного или карьерного водоотлива.

На фабриках обогащения полезных ископаемых в большинстве случаев производится дробление, грохочение, измельчение, промывка и особенно обогащение и обезвоживание руд или нерудных ископаемых. Обогащение может осуществляться различными методами в зависимости от вида, состава и свойств руды: гравитацией, магнитной и электрической сепарацией или флотацией.

При сухом обогащении производятся только дробление руды, отборка пустой породы и отделение мелкой пылеватой руды (обеспыливание). Вода при этом расходуется в незначительном количестве на охлаждение подшипников механизмов, обеспыливание, а также на хозяйственно-питьевые нужды. На таких фабриках устраивается система прямоточного водоснабжения с расходом на 1 т рудной массы примерно 0,15 м³ воды.

Гравитационный метод, заключающийся в отделении пустой породы от руды путем промывки рудной массы водой в особых аппаратах, применяется при высоком содержании в руде глинистых и песчаных примесей. Иногда промытую и измельченную руду подвергают маг-

нитной сепарации или восстановительному обжиг-магнитному обогащению. Вода при гравитационном и магнитном обогащении расходуется на разжижение и промывку рудной массы, охлаждение подшипников дробилок, сушильных или обжиговых вращающихся печей, обеспыливание, приготовление пара, а также на хозяйственно-питьевые нужды. Отделенные от руды хвосты и шламы вместе с водой направляются по трубам или лоткам в шламохранилище, служащее одновременно и прудом-осветлителем (отстойником) воды. Осветленная в шламохранилище вода, содержащая до 1 г/л взвеси, используется повторно на разжижение и промывку рудной массы. При этом на 1 т рудной массы расходуется от 5,8 до 7,7 м³ воды, в том числе до 30% свежей, так как часть воды в шламохранилище теряется.

При обогащении руды флотацией сначала ее измельчают до зерен размером 0,1—0,001 мм и взбалтывают в воде, в которую добавляют флотореагенты, а затем через эту смесь продувают воздух; одновременно в воду добавляют реагенты, которые делают пузырьки воздуха устойчивыми и способствуют образованию пены. При этом в пену обычно переходят полезные минеральные соединения (железо, марганец и др.), образуя концентрат, а пустая порода, как правило, остается в осадке, образуя вместе с водой пульпу. Вода при флотационном обогащении расходуется на разжижение и промывку рудной массы, приготовление растворов флотореагентов и образование пульпы; вода здесь служит также средой для транспортирования отходов и шламов. Водой охлаждаются подшипники дробилок, шаровых мельниц и сушильных вращающихся печей. Шламы, отделенные от руды при промывке рудной массы, и осадки от флотации вместе с водой направляются по трубам или лоткам в шламохранилище. Осветленная (в шламохранилище) вода может быть использована при обогащении руды флотацией, если содержание в ней взвеси не превышает 30—50 мг/л, или при обогащении руды гравитацией, если содержание в воде взвеси не превышает 200 мг/л.

Водоснабжение рудообогатительных фабрик при использовании флотации может быть осуществлено по одной из схем, показанных на рис. VII.24.

В случае, когда при обогащении руды по двухступенчатой схеме содержание флотореагентов в оборотной воде, подаваемой на промывку и флотацию, не нормируется, может быть применена схема водоснабжения по рис. VII.24 а. Общий сток коагулируется и направляется в пруд-осветлитель (шламохранилище); осветленная вода полностью возвращается на промывку и флотацию руды. Свежая вода подается только на восполнение потерь в производстве и шламохранилище.

В случае, когда содержание флотореагентов в оборотной воде нормируется, но не строго, может быть применена схема водоснабжения по рис. VII.24, б. Коагулируется только сток, содержащий флотореагенты, который направляется в радиальные отстойники; осадок из отстойников добавляется в сточную воду, не содержащую флотореагентов, для коагуляции им мелкодисперсной взвеси и вместе с этой водой поступает в пруд-осветлитель (шламохранилище). Вода, осветленная в отстойниках, и вода, осветленная в пруду-осветлителе, смешиваются и возвращаются на промывку и флотацию. Свежая вода из источника, как и в предыдущем случае, подается только на восполнение потерь.

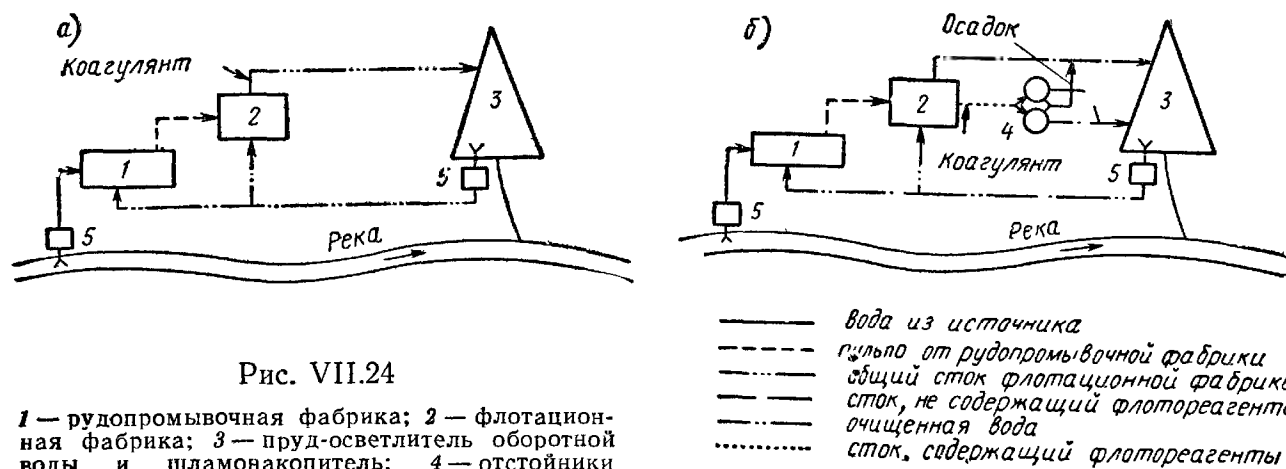
Общее потребление воды на 1 т железорудной массы, обогащаемой флотацией с предварительным гравитационным обогащением

и магнитной сепарацией, составляет до $8,5 \text{ м}^3$, в том числе около 30% свежей воды.

Пруды-осветлители оборотной воды (шламохранилища) образуются ограждающими дамбами, сооружаемыми насухо из вскрышных пород и намывом из шламов.

Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется от 1 до 1,2.

Необходимый напор в водопроводной сети рудообогатительных фабрик равен 40 м; для гидромониторов, производящих разжижение рудной массы, напор воды повышают специальными насосами до 150 м.



На случай перебоя в работе насосной станции необходимо иметь запас воды, достаточный для промывки системы в течение 15—30 мин.

На агломерационных фабриках, а также на фабриках окускования руды и производства окатышей, располагаемых у рудообогатительных фабрик или на металлургических заводах, производится спекание в куски шихты, состоящей из продуктов флотации и пылеватой руды, известняка и коксика, с добавлением возврата мелкого агломерата (отсева). Вода при этом расходуется на увлажнение шихты перед спеканием, на охлаждение зажигательных горнов, подшипников механизмов, масла для смазывания подшипников эксгаустера и электродвигателя, на обеспыливание воздуха, очистку газов и мойку полов, а также на хозяйственно-питьевые нужды.

Водоснабжение фабрик обратное с осветлением отработавшей воды в отстойниках. Свежая вода подается на охлаждение подшипников и масла, а затем используется на восполнение потерь оборотной воды.

Общее потребление воды на 1 т агломерата железных руд составляет: без очистки газов около 2 м^3 , в том числе до 27% свежей воды; с очисткой газов $5,7 \text{ м}^3$, в том числе 13% и более свежей воды. Потребление воды на 1 т агломерата марганцевых руд — $3,5 \text{ м}^3$, в том числе около 30% свежей воды. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется от 1 до 1,2.

Необходимый напор в водопроводной сети агломерационной фабрики составляет 25—30 м.

§ 159. КОКСОХИМИЧЕСКИЕ ЗАВОДЫ

Современный коксохимический завод состоит из коксового цеха и следующих химических цехов и отделений: цех улавливания химических продуктов, в который входят отделение конденсации и охлажде-

ния газа, машинное отделение с электрофильтрами, аммиачно-сульфатное отделение с пиридиновой и обесфеноливающей установками, отделения улавливания и дистилляции бензола; цех отгонки газа от сероводорода с отделениями сероводородным и сернокислотным; смолоразгонный цех с рядом отделений.

В составе многих коксохимических заводов имеются углеобогачительные фабрики с мойкой углей или мойкой и флотацией мелких углей и шламов.

На углеобогачительной фабрике вода расходуется на мойку углей, приготовление растворов флотореагентов и образование пульпы; вода здесь служит также средой для транспортирования шламов; водой охлаждаются подшипники механизмов. Водоснабжение углеобогачительной фабрики обратное с осветлением отработавшей воды в отстойниках.

Шламы (осадки) после мойки углей сгущаются в технологических отстойниках и подаются на флотацию; вода от флотации подвергается осветлению в горизонтальных отстойниках и при содержании в ней 1—70 г/л взвеси подается в цикл мойки углей без выпуска в водоем.

Общее потребление воды на 1 т обогащаемых углей составляет около 4 м³, в том числе до 4% свежей воды. В водопроводной сети углеобогачительной фабрики достаточен напор 35—40 м. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется от 1 до 1,2.

В коксовом цехе вода применяется для тушения раскаленного кокса, выгружаемого из печи в специальный тушильный вагон. Этот вагон ставится под тушильную башню, и кокс поливается обильным потоком воды в виде дождя. После выгрузки из вагона кокс для завершения процесса тушения дополнительно поливается водой на рампе. На новых заводах применяется сухое (безводное) тушение кокса.

Суммарный расход воды на тушение 1 т кокса под башней и на рампе составляет 1 м³; при этом безвозвратно теряется на испарение и уносится коксом около 0,5 м³ воды. Остальная вода вместе с мелкими кусочками кокса и химически растворимыми веществами стекает в приемный резервуар-отстойник. После осветления (отстаивания) эта вода под напором 25 м подается снова на тушение кокса. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется от 1,1 до 1,3. При сухом тушении кокса потребление воды снижается.

В химических цехах и отделениях используемая вода может загрязняться и не загрязняться. В трубчатых холодильниках газа, отделениях сероводорода и ректификации, в бензольном и сульфатном отделениях, смолоразгонном цехе и пекококсовой установке вода, используемая на охлаждение продуктов через стенку, не соприкасается с этими продуктами и не загрязняется; в конечных холодильниках газа, на пековом транспортере, в первичном холодильнике пекококсовой установки, в оросительных холодильниках сероочистки вода расходуется на охлаждение и очистку продуктов путем непосредственного соприкосновения с ними и загрязняется.

Система водоснабжения химических цехов и отделений коксохимического завода осуществляется с оборотом воды (рис. VII.25). Первая группа потребителей имеет один общий цикл водоснабжения, охватывающий следующие цехи, отделения и установки: трубчатые холодильники газа *а*; отделение улавливания сероводорода *б*; отделение ректификации бензола *в*; бензольное отделение *г*; сульфатное отделение *д*; насосную конденсата *е*; смолоразгонный цех *ж* и пекококсовую установку *з*. Из этой же системы обратная вода подается на восполнение по-

терь в отдельных циклах водоснабжения: конечных газовых холодильников *о*; пекового транспортера *п*; первичных холодильников пекококсовой установки *р*; углеобогатительной фабрики. В первую систему принимается отработавшая вода от машинного отделения *и*. Восполнение потерь и убыли воды в первом цикле и в цикле оросительных холодильников серной кислоты *с* производится водой из источника. Свежая вода из источника подается также следующим потребителям: машинному отделению *и*; на поливку территории *к*; цеху углеподготовки *л*; коксовому цеху *м*; на биохимическую обесфеноливающую установку *н*.

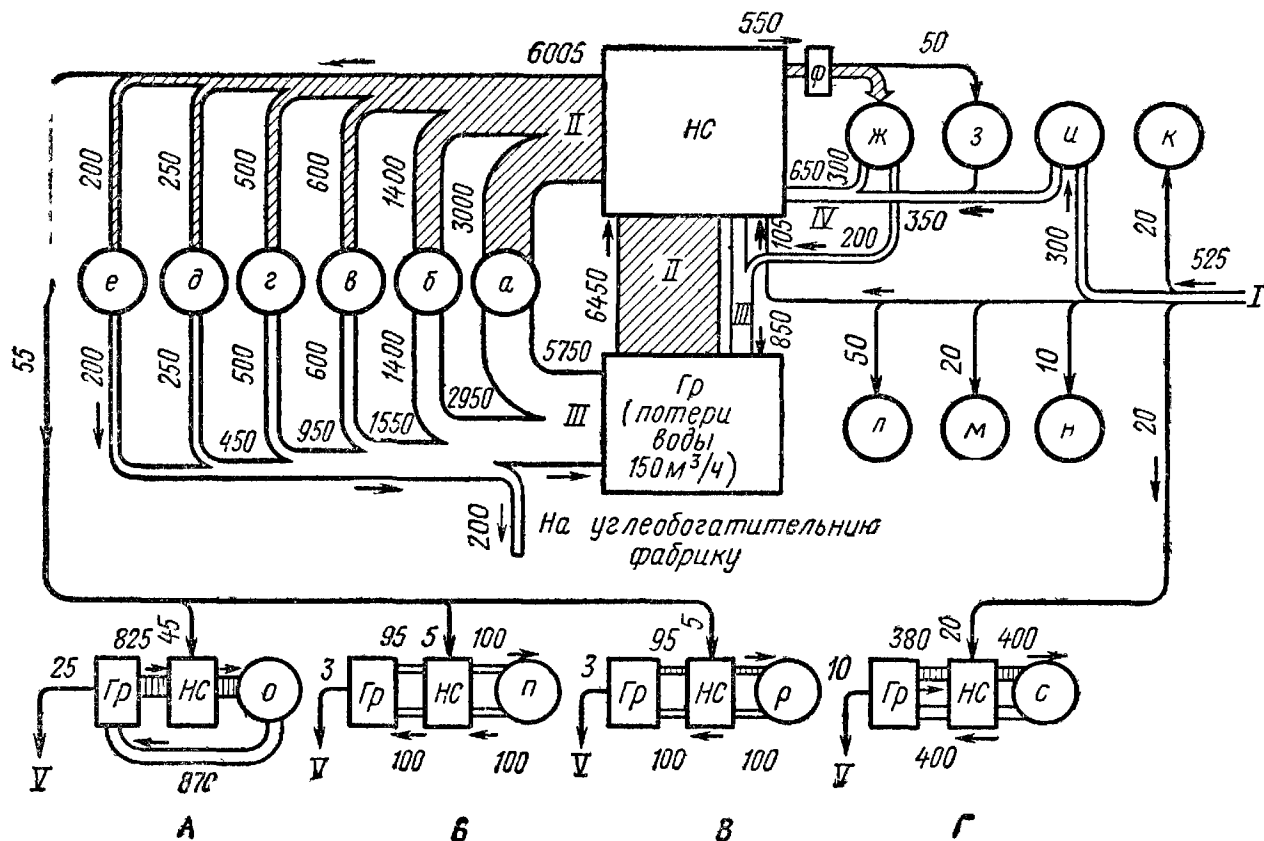


Рис. VII 25

I — свежая добавочная вода; *II* — оборотная техническая (незагрязненная) охлажденная вода; *III* — нагретая напорная вода, *IV* — нагретая безнапорная вода, *V* — сброс сточных вод в фенольную канализацию. *A* — замкнутый цикл водоснабжения конечных газовых холодильников, *Б* — то же, пекового транспортера, *В* — то же, первичных холодильников пекококсовой установки, *Г* — то же, оросительных холодильников серной кислоты, *Гр* — градирня, *НС* — насосная станция, *Ф* — фильтры (цифрами показаны расходы воды в м³/ч)

Оборотная вода во всех замкнутых циклах охлаждается на градирнях. Загрязненные сточные воды от второй группы потребителей поступают в канализационную сеть фенольных стоков и после соответствующей очистки используются на восполнение потерь в цикле тушения кокса (на схеме не показано) без выпуска в водоем.

Общее потребление воды на 1 т получаемого кокса (включая водопотребление химических цехов и отделений, без обогащения угля) составляет около 20 м³, в том числе около 5—7% свежей воды. Основное количество воды расходуется на охлаждение продуктов (газа) в теплообменных аппаратах. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды колеблется в пределах 1—1,2.

К качеству охлаждающей воды предъявляются следующие требования: температура ее должна быть не выше 25—28° С; содержание взвешенных веществ — не более 20—40 мг/л; карбонатная жесткость — не выше 2,5 мг-экв/л (во избежание образования отложений CaCO₃). Требуемый напор в водопроводной сети химических цехов 30 м.

§ 160. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ЗАВОДЫ

Металлургические заводы состоят из трех основных цехов: доменного, сталеплавильного и прокатного с мощным энергетическим хозяйством, включающим очистку и использование доменного газа, воздухоудвную и электрическую станции, на многих заводах — кислородную станцию и другие устройства, а также вспомогательных цехов: ремонтно-механического, железнодорожного транспорта и др.

Иногда металлургические заводы имеют неполный технологический цикл, охватывающий выплавку стали из привозного чугуна и

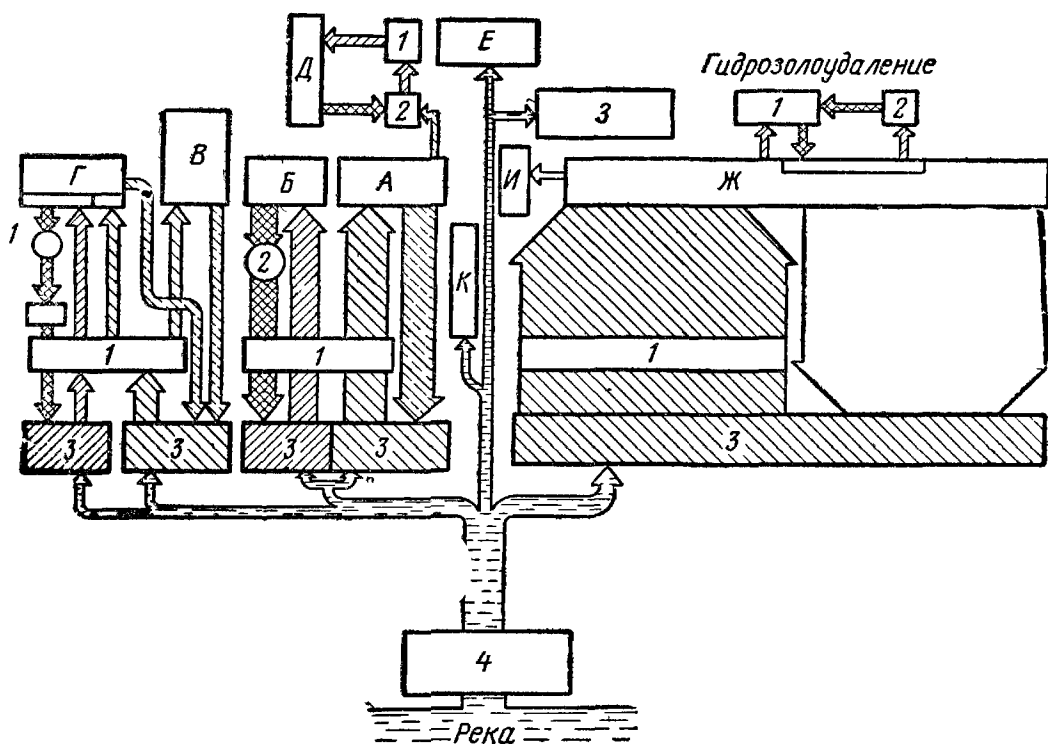


Рис. VII.26

А — доменный цех; Б — газоочистка; В — сталеплавильный цех; Г — прокатный цех; Д — разливочные машины; Е — коксохимический цех; Ж — ТЭЦ и паровоздуховая станция; З — цех огнеупоров; И — химводоочистка; К — прочие цехи; 1 — насосные станции циклов оборотного водоснабжения, 2 — отстойники, 3 — брызгальные бассейны; 4 — насосная станция первого подъема

скрапа (стальной и чугунный лом) и передел ее в прокатные профили и изделия.

На металлургических заводах, как правило, устраивают систему оборотного водоснабжения из отдельных циклов для каждого из цехов и устройств, отличающихся качеством воды и необходимыми напорами ее в сетях (рис. VII.26). Общее потребление воды на производственные нужды современного завода с полным металлургическим циклом, включая коксовое и огнеупорное производства, ТЭЦ и вспомогательные цехи, на 1 т выплавленного чугуна с переделом его в сталь и прокат достигает 220 м³, в том числе от 3 до 5% свежей воды.

Основное количество воды (около 75%) расходуется на металлургическом заводе на охлаждение конструктивных элементов, агрегатов (доменных, сталеплавильных и нагревательных печей) и на конденсацию пара на воздухоудвной и электрической станциях. До 22% воды расходуется здесь на охлаждение непосредственно оборудования и продукции (газа и металла), а также на транспортирование механических примесей; при этом вода и нагревается, и загрязняется. Небольшое количество воды (около 3%) расходуется на прочие мелкие нужды.

Для основных цехов металлургического завода необходима бесперебойная подача воды.

§ 161. ДОМЕННЫЕ ЦЕХИ

В доменном цехе производится выплавка чугуна из шихты (агломерата, руды и известняка с коксом, используемым как топливо) в непрерывно действующих доменных печах с внутренним объемом от 250 до 5000 м³. Известняк является флюсом, способствующим сплавлению

и ошлакованию пустой породы руды. Необходимый для горения воздух подается в печь воздуходувками; перед поступлением в печь воздух проходит через воздухонагреватели. Для интенсификации процесса в доменную печь может подаваться кислород, получаемый на специальной станции, а также природный газ.

Продукты производства — чугун и шлак — выпускаются из печей в ковши; чугун отвозят для дальнейшей переработки в сталь или же разливают в слитки в виде чушек, а шлак подают на грануляционную установку. Кроме чугуна и шлака из доменных печей выходит газ, используемый после предварительной очистки как топливо на том же заводе.

Доменная печь (рис. VII.27) представляет собой конусную шахту в виде стального кожуха с внутренней кладкой из огнеупорного кирпича.

Загружаемая сверху шихта постепенно опускается по шахте к самой широкой ее части (распару), где под воздействием температуры горения кокса и природного газа начинают образовываться капли чугуна и шлака, собирающиеся в металлоприемнике.

Вода при выплавке чугуна расходуется на увлажнение шихты, охлаждение доменных печей и арматуры воздухонагревателей и на мелкие нужды. Кроме того, вода в доменном цехе расходуется на грануляцию шлака, охлаждение чугуна на разливочных машинах и в подбункерных помещениях.

Шихта увлажняется для уменьшения выноса из доменной печи пылеватых частиц руды, флюсов и кокса. Для этого обычно используется вода (0,5 м³ на 1 т выплавленного чугуна), отработавшая в системе охлаждения доменных печей.

Охлаждение доменной печи водой требуется для сохранения кладки печи из огнеупорного кирпича и деталей, работающих в зоне высоких

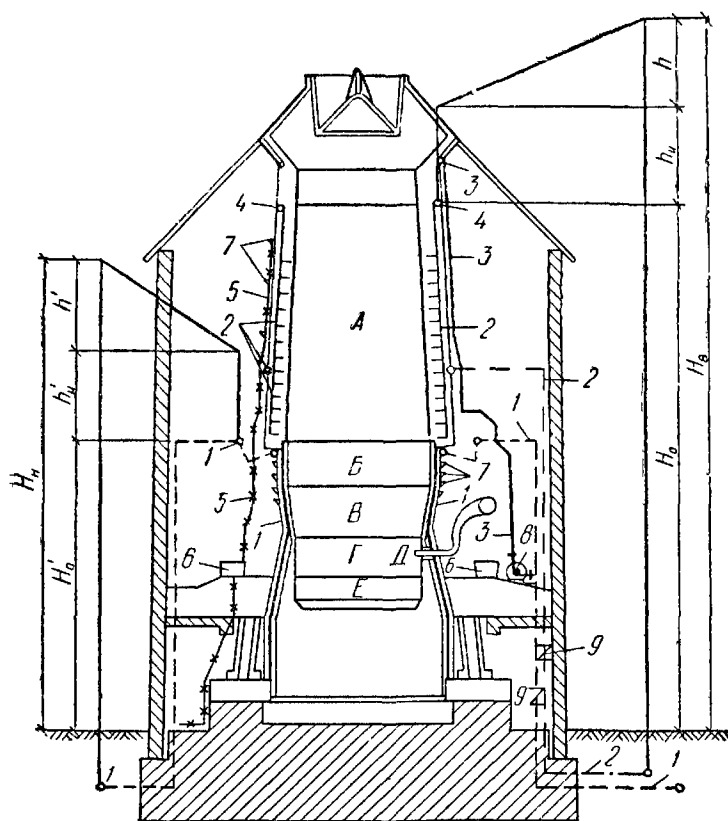


Рис. VII 27

А — шахта; Б — распар; В — заплечики доменной печи; Г — горн; Д — фурмы; Е — металлоприемник; 1 — сеть нижней зоны водоснабжения; 2 — сеть верхней зоны водоснабжения; 3 — сеть высокого напора (для подачи воды на колошник и промывку холодильников); 4 — кольцевая труба от верхней зоны для наружной поливки шахты печи; 5 — водоотводящий трубопровод; 6 — сборный бачок отработавшей воды; 7 — переливные козырьки для наружной поливки печи; 8 — насос для повышения напора; 9 — обратные клапаны

температур. Количество воды в $\text{м}^3/\text{ч}$, необходимой для отведения тепла от доменной печи (а также от других металлургических печей), может быть определено по формуле

$$W = \frac{Q}{c(t_2 - t_1) 10^3},$$

где Q — количество тепла, отводимого охлаждающей водой, в ккал/ч;

c — теплоемкость воды, равная 1 ккал ($\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$);

t_1 и t_2 — температура воды, поступающей в холодильники и выходящей из них, в $^\circ\text{C}$.

Общее количество тепла в ккал/ч, отводимого охлаждающей водой от любой доменной печи, по С. М. Андоньеву, составляет

$$Q = 0,15n + 0,006V) K,$$

где n — число воздушных фурм у доменной печи;

V — полезный (внутренний) объем доменной печи в м^3 ;

K — коэффициент, учитывающий сорт выплаваемого чугуна: для передельного чугуна $K = 1$, для литейного чугуна $K = 1,1$ и для специальных чугунов $K = 1,2 \dots 1,4$.

Водоснабжение доменного цеха может быть однозонным или двухзонным. При однозонном водоснабжении вся охлаждающая вода подается в холодильники доменной печи под одним общим напором, достаточным для ее поступления в наивысшую точку. При двухзонном водоснабжении вода для нижней части печи (распар, заплечики, фурменная зона, горн и лещады) подается под одним (пониженным) напором H_n , а для верхней части — под другим (повышенным) напором H_v (см. рис. VII.27). При этом

$$H_v = H_0 + h_n + h;$$

$$H_n = H'_0 + h'_n + h',$$

где H_0 и H'_0 — напоры у самой печи;

h_n и h'_n — остаточные напоры на излив;

h и h' — потери напора от магистрали до холодильников.

В последнее время водоснабжение крупных доменных печей устраивают однозонным. Как при однозонном, так и при двухзонном водоснабжении вода подается к доменному цеху по двум самостоятельно работающим водоводам и сетям (параллельным водоводам), как показано на рис. VII.28. При этом между параллельными водоводами A и B имеются перемычки с электрифицированными задвижками, закрытыми при нормальном режиме работы и открываемыми только при ремонтах; на вводах воды к печам установлены обратные клапаны, препятствующие обратному току воды из водопроводного кольца доменной печи в случае аварии на одном из водоводов. Управление задвижками на перемычках дистанционное из диспетчерского пункта.

Охлаждение клапанов воздухонагревателей (цилиндрического сооружения в виде металлического кожуха, заполненного специальной кладкой из огнеупорного кирпича) имеет целью предохранение клапанов от разрушения проходящими через них газами и воздухом, нагретыми до температуры 800°C и более. Клапаны служат для регулирования нагрева воздуха, поступающего от воздуходувных машин в доменную печь; воздух нагревается сжиганием очищенного доменного газа.

Потребление воды в доменном цехе на 1 т выплаваемого чугуна (без учета ее расходования на грануляцию шлака и разливку металла) составляет около 24 м^3 , в том числе 3—4% свежей воды. Основное коли-

чество воды (примерно 95%) расходуется на охлаждение конструкций и арматуры и не получает специфических загрязнений. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды равен 1,05.

Водоснабжение доменного цеха — обратное; отработавшая вода из холодильников печей и арматуры воздухонагревателей сливается в приемные коробки и поступает для охлаждения на градирни или в брызгальный бассейн; охлажденная вода забирается насосами и снова подается в цех. Необходимый напор обратной воды в сети у доменных печей составляет от 45 до 70 м в зависимости от полезного объема печи.

Грануляция шлака заключается в превращении его из жидкого состояния в твердый зернистый материал путем быстрого охлаждения водой. Из гранулированного шлака готовят шлаковый кирпич и цемент; шлак можно использовать и для других целей.

В настоящее время применяют преимущественно полусухую грануляцию шлака, а у новых доменных печей — мокрую грануляцию в желобах с осветлением обратной воды в отстойнике. Расход обратной воды

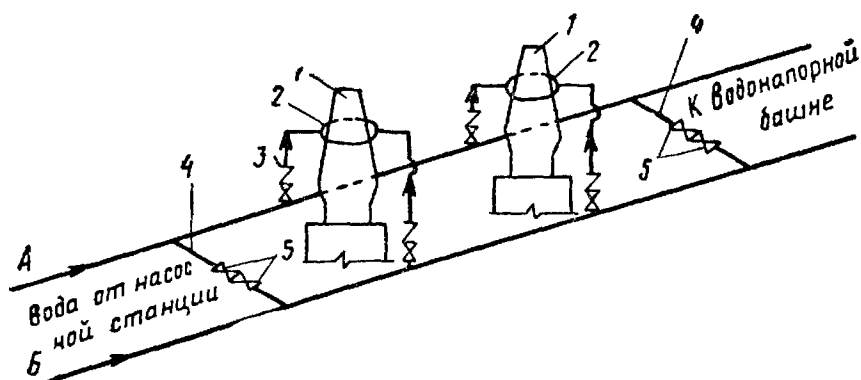


Рис. VII 28

1 — доменные печи;
2 — водопроводное
кольцо печи; 3 — об-
ратные клапаны;
4 — переключки, 5 — за-
движки

на мокрую грануляцию составляет 8 м³ на 1 т шлака; безвозвратно теряется в обоих случаях около 1 м³ на 1 т шлака.

Разливка чугуна в чушки производится на специальных разливочных машинах, к которым жидкий чугун подвозят от печей в ковшах. Чугун разливают в мульты (изложницы), непрерывно движущиеся вместе с несущей их цепью (лентой). Разлитый в изложницы чугун интенсивно поливают водой из дырчатых труб; охлажденные и затвердевшие слитки (чушки) чугуна подают с ленты на железнодорожную платформу, на которой после доохлаждения водой их отвозят на склад.

Общий расход воды при разливке на 1 т чугуна составляет до 4 м³, при этом около 20% воды теряется. Водоснабжение обратное с очисткой отработавшей воды от кусочков ломаного чугуна и извести в отстойнике. Потери в системе восполняются свежей водой.

Напор воды для разливочных машин должен быть 30 м.

§ 162. ЦЕХИ ОЧИСТКИ ДОМЕННОГО ГАЗА

В цехе очистки доменного газа вода служит поглотителем механических примесей газа (колошниковой пыли), растворителем газов и некоторых минералов, а также охладителем газа и транспортирующей средой поглощенных примесей. В трубах Вентури, скрубберах, а иногда и в электрофильтрах очищаемый и охлаждаемый газ движется навстречу струям воды.

Количество воды в м³/ч, необходимой для охлаждения и очистки га-

за путем непосредственного соприкосновения с ним, может быть приближенно определено по уравнению

$$W = \frac{G(i_1 - i_2)}{c(t_2 - t_1) 10^3},$$

где G — количество очищаемого и охлаждаемого газа в кг/ч;
 i_1 и i_2 — теплосодержание газа соответственно до и после его очистки и охлаждения в ккал/кг;
 t_1 и t_2 — температура воды, поступающей на газоочистку и после нее, в °С.

Теплосодержание газа

$$i = c' t_r,$$

где c' — теплоемкость газа в ккал/(кг·°С);
 t_r — температура газа в °С.

Общий расход воды на очистку доменного газа составляет 24 м³ на 1 т выплавленного чугуна, в том числе около 5% свежей воды (с учетом гидравлического удаления шлама из отстойников). Коэффициент часовой неравномерности расхода воды равен 1, а при наличии электрофильтров — 1,35.

Вода в процессе ее использования для очистки доменного газа нагревается на 15—20°С и загрязняется механическими примесями, углекислотой (CO₂) и др.

Для цеха устраивается система обратного водоснабжения (рис. VII.29). Выходящая из цеха газоочистки 1 отработавшая вода с температурой 45—50°С и содержанием взвешенных веществ 1500—1800 мг/л поступает в радиальные отстойники 2, где количество взвешенных веществ снижается до 80—150 мг/л. Из отстойников вода поступает в камеру горячей воды a к насосной станции 3; в последней установлены две группы насосов. Первой группой насосов вода подается на градирню 4 для ее охлаждения, здесь температура воды снижается до 28—30°С. Второй группой насосов охлажденная вода по линии 5 снова подается в цех газоочистки. Осадок, образующийся в отстойниках, подается насосной станцией 6 по шлампроводу 7 на установку по обезвоживанию осадка 8 или по линии 9 в шламонакопитель. Шламовая вода возвращается в один из радиальных отстойников по линии 10. Потери воды в системе восполняются свежей водой, подаваемой по линии 11 в приемную камеру охлажденной воды b насосной станции 3.

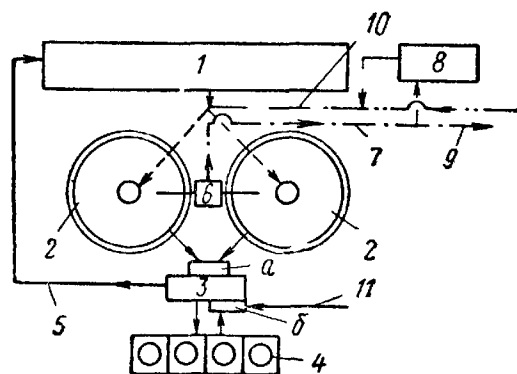


Рис. VII.29

Необходимый напор в водопроводной сети цеха газоочистки равен 40—45 м.

Для предотвращения образования карбонатных отложений на градирне, в трубах и газоочистных аппаратах обратную воду подвергают двухступенчатой рекарбонизации углекислотой доменного газа, вводя ее в воду в камерах a и b насосной станции 3.

§ 163. СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЕ ЦЕХИ

В сталеплавильных цехах производится выплавка стали из чугуна. В процессе передела чугуна в сталь, протекающем при высоких температурах, из чугуна удаляется часть углерода, кремния и марганца, а также вредных примесей (серы и фосфора).

Выплавка стали может производиться следующими способами: конвертерным, мартеновским и электроплавкой; иногда применяют комбинации этих способов. Выплавленную сталь разливают в изложницы и направляют в прокатные цехи. В настоящее время широкое применение находит непрерывная разливка стали в длинные слитки для последующей прокатки в профили.

В конвертерном цехе вода расходуется на охлаждение воздушных и кислородных машин, очистку газа в скрубберах, а также на различные мелкие нужды; очищенный газ выпускается в атмосферу. Общее потребление воды составляет от 15 до 26 м³ на 1 т выплавленной стали, в том числе 4—5% свежей воды.

В мартеновском цехе (наиболее широко распространенном) чугуна, а также скрап (металлический лом) и необходимые добавки (марганец, доломит и др.) переплавляют в печах, отапливаемых газом (коксо-

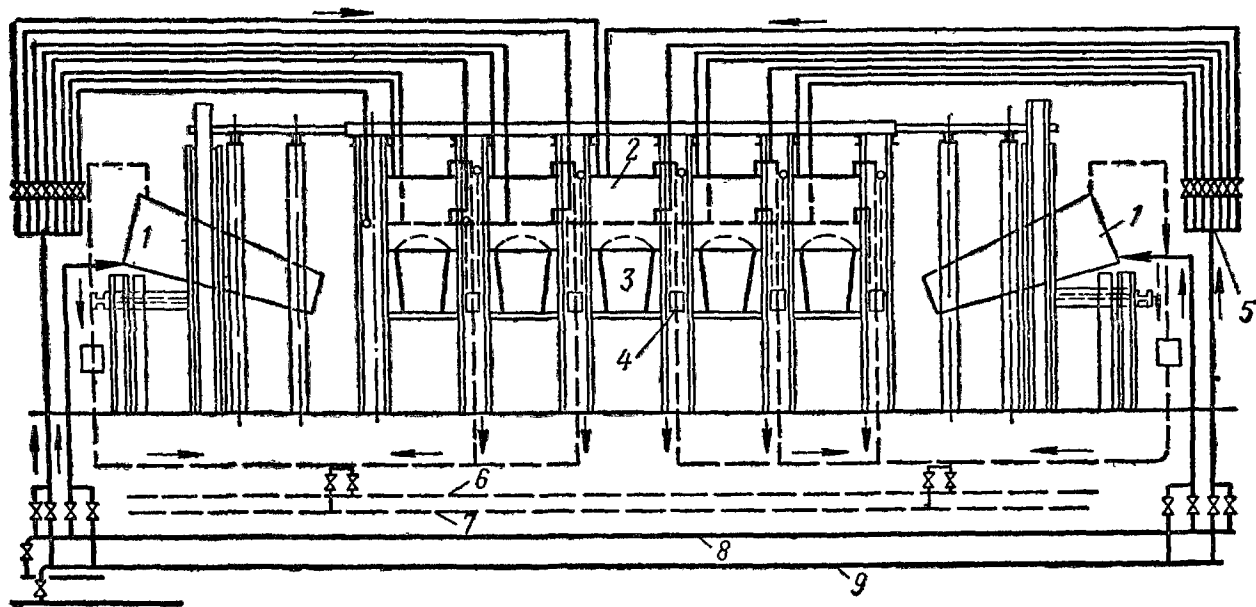


Рис. VII 30

1 — кессон; 2 — заслонка; 3 — рама; 4 — воронка; 5 — гребенка; 6 и 7 — главные обратные водоводы № 1 и 2; 8 и 9 — главные подающие водоводы № 1 и 2

вым, доменным или смесью их) или мазутом; выделяющийся при этом газ очищается в скрубберах и выпускается в атмосферу. Печи охлаждаются водой (водяное охлаждение) или пароводяной эмульсией (испарительное охлаждение) с целью сохранения постоянства профиля огнеупорной кладки и долговечности деталей, работающих в зоне высоких температур. Схема водяного охлаждения мартеновской печи приведена на рис. VII.30. Водой охлаждаются кессоны, рамы и заслонки завалочных окон, пятовые балки, перекидные устройства (воздушные и газовые) и шиберы. Вода в цехе расходуется также на очистку газов (аналогично доменному), поливку рабочей площадки у печей, мытье механизмов, замочку и охлаждение инструмента, заливку шлака и др.

Расход воды на охлаждение мартеновской печи вычисляют так же, как и для доменной печи.

Общее количество тепла в ккал/ч, отводимого охлаждающей водой от мартеновской печи с газовым отоплением, по С. М. Андоньеву, составляет

$$Q_r = \left(5 - \frac{120}{E}\right) pJs \cdot 10^6,$$

где E — емкость печи по стали в т;
 p — коэффициент неравномерности тепловой нагрузки печи, составляющий до 1,4;
 J — коэффициент, учитывающий применение кислорода, равный 1,06;
 s — коэффициент, учитывающий наличие у печи задних пятых балок, равный 1,15.

Количество тепла в ккал/ч, отводимого охлаждающей водой от мартеновской печи с мазутным отоплением, по формуле того же автора составляет

$$Q_m = \left(3 - \frac{50}{E}\right) p J s \cdot 10^6.$$

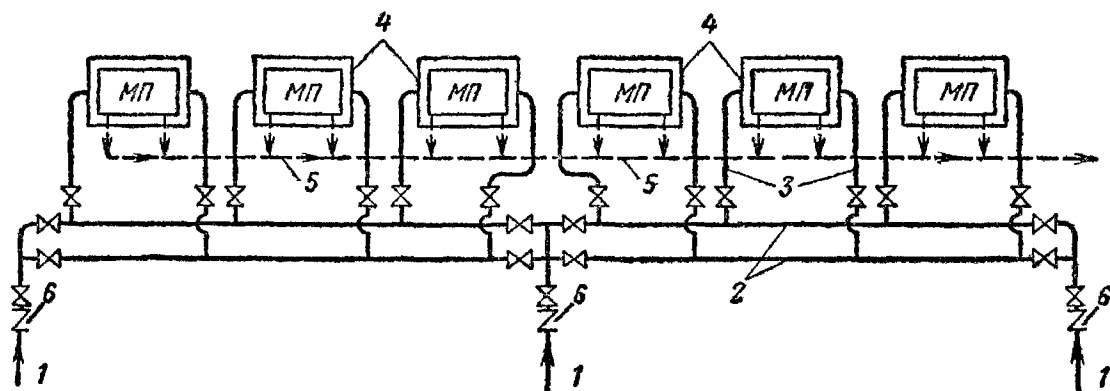


Рис VII 31

Отработавшая нагретая и незагрязненная вода из охлаждаемых деталей сливается в приемные коробки, расположенные на высоте 1,5 м над уровнем рабочей площадки или на высоте 7—8 м над поверхностью земли, а затем отводится на градирню; охлажденная вода снова подается на те же цели. Схема водопроводной сети мартеновского цеха приведена на рис. VII.31. От магистральных водоводов или водопроводного кольца вода поступает в цех по вводам 1 в водопроводные линии 2, уложенные параллельно внутри цеха. К охлаждающим устройствам вода подводится по линиям 3 через водопроводное кольцо 4, уложенное по верху каждой печи МП. Отработавшая нагретая вода сливается в коллектор 5, по которому она поступает на охлаждающее сооружение (градирню или брызгальный бассейн). В зависимости от местных условий одна из линий 2 может быть уложена с другой стороны сталеплавильных печей.

В случае понижения давления в одной из линий внешней водопроводной сети на соответствующем вводе 1 автоматически закрывается обратный клапан 6, благодаря чему вода не пойдет обратно во внешнюю водопроводную сеть. В сталеплавильном цехе не допускается не только перерыв в подаче воды, но и уменьшение ее количества или снижение напора, так как это влечет за собой нарушение нормального хода плавки стали в печах. Для обеспечения бесперебойной подачи воды в мартеновский цех устраивают водонапорную башню с запасом воды на 20—30 мин ее расходования.

Общее потребление воды на выплавку 1 т стали в мартеновских печах составляет от 14 до 24 м³, в том числе около 4—5% свежей воды на восполнение потерь ее в системе. В сети у цеха необходим напор в 30 м.

В электросталеплавильном цехе выплавляются высококачествен-

ные легированные стали или ферросплавы. Плавка осуществляется в электрических печах, в которых необходимая температура плавильного пространства обеспечивается горением электрических дуг, образующихся между шихтой и электродами.

Вода в электросталеплавильном цехе расходуется на охлаждение зажимов электрододержателей (это необходимо во избежание чрезмерного нагревания зажимов током большой силы, проходящим по электродам, а также выделяющимися в печи горячими газами), на охлаждение электродов в местах их прохода через свод, где охлаждающая вода протекает по трубчатым кольцам, на охлаждение завалочных и выпускных окон, трансформаторного масла и др. Кроме того, вода расходуется на очистку отходящих от плавки газов перед выбросом их в атмосферу.

Общий расход воды в электросталеплавильных цехах на 1 т выплавляемой стали составляет до 48 м³, в том числе 4—5% свежей воды. В ферросплавных цехах расход воды на 1 т ферросплавов возрастает до 60—400 м³ в зависимости от их состава; потребность в свежей воде увеличивается до 6%.

Коэффициент часовой неравномерности расхода воды в сталеплавильных цехах принимают равным 1,05.

В каждом сталеплавильном цехе (конвертерном, мартеновском, электропечном) устраивают два цикла оборотного водоснабжения: цикл незагрязненной охлаждающей воды с градирней и цикл загрязненной воды газоочистки с отстойником и градирней. Ведутся производственные опыты по использованию оборотной воды газоочистки без ее охлаждения.

В сталеплавильных цехах вода подается также в виде душа на охлаждение стали, находящейся в изложницах, установленных на тележках. Расход этой воды учитывается в общем потреблении воды в цехе и составляет 30—50 м³/ч, в том числе 10—15% свежей воды.

В последнее время при сталеплавильных цехах устраиваются установки непрерывной разливки стали, использующие для охлаждения незагрязненную и загрязненную воду, как и в прокатном цехе (см. ниже).

§ 164. ПРОКАТНЫЕ ЦЕХИ

В прокатных цехах стальные слитки прокатываются в металл самого разнообразного профиля. Технологический процесс прокатки разделяется на два основных цикла: нагрев слитков перед прокаткой в нагревательных печах или нагревательных колодцах и прокатка нагретых слитков.

У нагревательной печи водой охлаждаются рамы и заслонки, глосажные (подовые) трубы, а также фурменные устройства. Схема водопровода нагревательной (методической) печи показана на рис. VII.32. Расход воды на нагревательные печи зависит от их типа, производительности, величины нагреваемых слитков (чем крупнее слитки, тем меньше удельный расход воды) и составляет на 1 т проката от 0,3—0,5 м³ для нагревательных колодцев в цехах блюмингов до 8 м³ для нагревательных печей при мелкосортных станах. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды на нагревательные печи принимают равным 1,05. Вода в нагревательных колодцах и печах нагревается на 8—15° и не загрязняется. Поэтому ее обычно не смешивают с водой, отходящей от прокатных станов, и после охлаждения на градирне используют в системе оборотного водоснабжения.

Необходимый напор в водопроводной сети у нагревательных колодцев и печей равен 20—25 м.

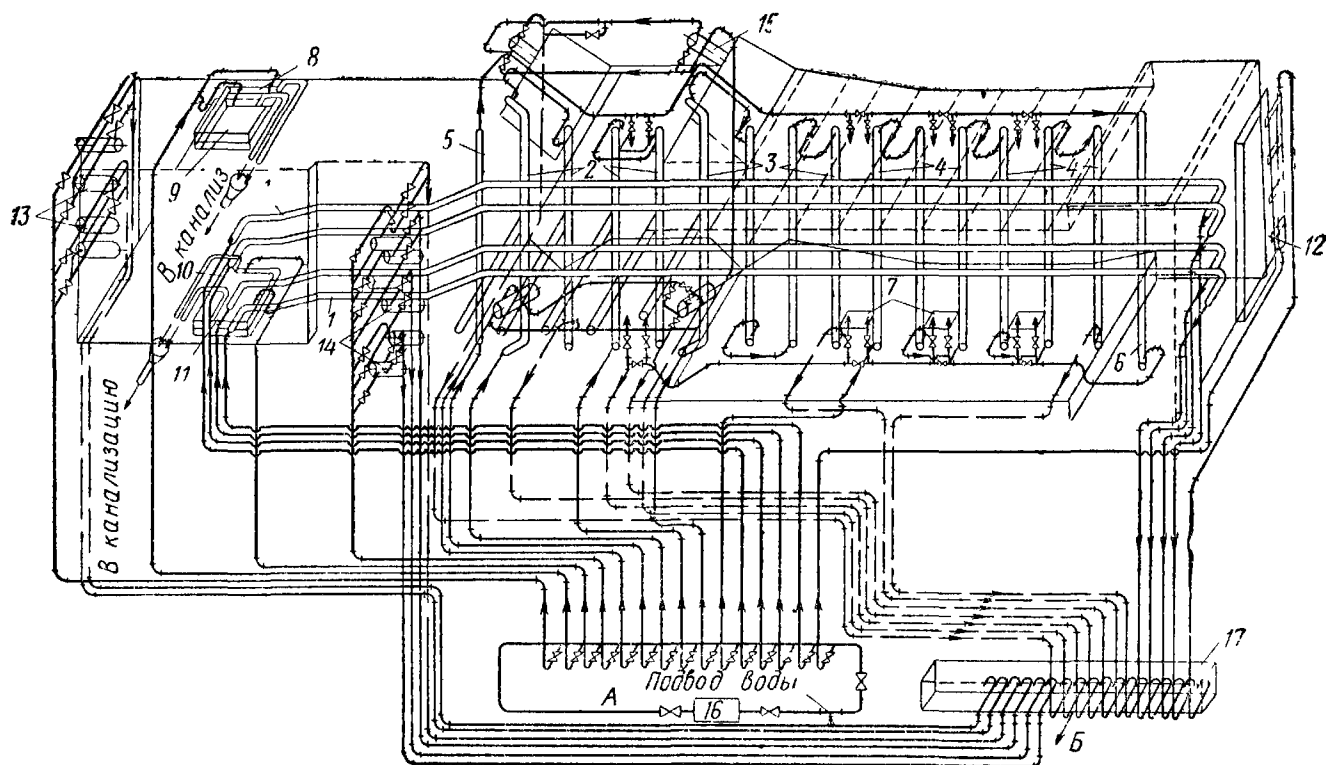


Рис. VII.32

А — узел подвода и распределения охлаждающей воды по деталям; **Б** — узел сбора и отвода отработанной воды; **1** — продольные подовые трубы; **2** — поперечные подовые трубы в зоне высоких температур; **3** и **4** — то же, в методической части печи; **5** — опорная груба; **6** — поперечная подовая груба; **7** — отбойники с водяным охлаждением; **8** — рама окна выдачи слитков; **9** — заслонка окна выдачи слитков; **10** — рама окна перед выталкиванием слитков; **11** — заслонка перед выталкиванием слитков; **12** — рама окна загрузки; **13** — форсунки горелок; **14** — нижние горелки; **15** — боковые горелки; **16** — водомер; **17** — бачок для слива воды

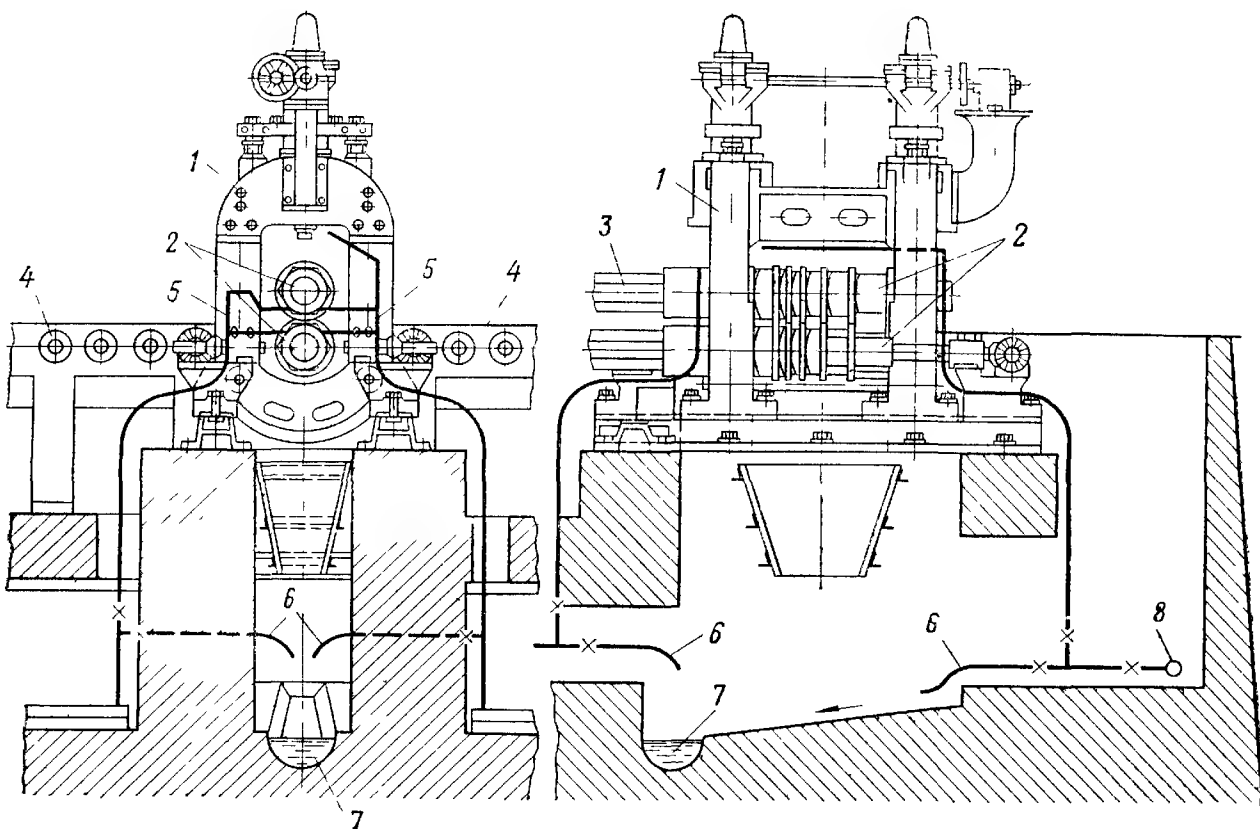


Рис. VII.33

1 — станина; **2** — валки; **3** — привод валков; **4** — рольганг; **5** — подвод воды для охлаждения валков и подшипников; **6** — насадки для смыва окалины; **7** — канал для гидравлического транспортирования окалины; **8** — подвод воды к стану

Прокатный стан представляет собой целый комплекс механизмов. Основной частью стана является рабочая клеть, состоящая из станины и валков с приводом (рис. VII 33). Нагретые слитки металла поступают из нагревательных печей к прокатному стану по рольгангам. Неоднократно проходя между валками, слиток обжимается по сечению и вытягивается в длину, превращаясь в длинные балки, прутья, полосы или листы. Требуемый окончательный профиль получают путем последовательной прокатки металла через ряд валков, имеющих соответствующую калибровку. Станы имеют по две-три и более клетей.

Аналогичным образом изготавливаются катаные трубы: нагретая металлическая болванка прошивается стержнем с наконечником и оправляется с наружной стороны валками, в результате получается труба.

В прокатном цехе основная масса воды расходуется на охлаждение валков и подшипников во избежание чрезмерного их нагревания при постоянном соприкосновении с раскаленным металлом; валки поливают водой из расположенных над ними дырчатых труб или желобов. Наиболее ответственно охлаждение подшипников из текстолита или лигностона, на которые передается основная нагрузка валков при прокатке металла; вода служит одновременно смазкой подшипников, поэтому в ней не должно быть механических примесей.

Вода, поливаемая на валки, охлаждает их и смывает окалину, осыпающуюся с прокатываемого металла. Сточная вода поступает под клеть в канал. Основную массу окалины от многих крупных станков можно удалять в вагонетках, устанавливаемых под воронками, через которые сыпается окалина. На большинстве современных станков сыпающуюся под стан окалину транспортируют водой до цеховых отстойных ям; для транспортирования окалины расходуется вода, используемая последовательно или повторно (иногда после охлаждения печей). Из отстойных ям крупную окалину выгружают грейферным краном на железнодорожные платформы. Вода расходуется на смыв и транспортирование окалины непрерывно. После цеховых (первичных) отстойников воду дополнительно очищают от мелкой окалины и масла во вторичных отстойниках и затем подают на повторное использование. На некоторых заводах вместо вторичных отстойников стали применять открытые гидроциклоны.

Вода в прокатном цехе расходуется также на охлаждение масла и воздуха (для крупных электродвигателей) в закрытых трубчатых холодильниках. Желательно, чтобы температура охлаждающей воды была не выше 25°C . В некоторых случаях вода идет еще на увлажнение воздуха, подаваемого в машинное отделение или цех. Для этой цели используют воду, обладающую качествами питьевой воды.

Водой охлаждаются многие вспомогательные механизмы — пилы, ножницы и т. п., а также инструменты.

Режим расходования воды на прокатных станах и ее количество весьма различны ввиду разнообразия станков, а также ввиду того, что на одном и том же стане могут прокатываться разные сорта и профили металла.

В некоторых прокатных цехах имеются отделения обработки металла кислотой, где вода расходуется для приготовления раствора кислоты (травильные ванны), периодически заменяемого по мере уменьшения его концентрации (с 20 до 3—5%), для приготовления известкового раствора, также заменяемого периодически, и для промывки металла после травления. В зависимости от типа оборудования травильных отделений и других причин расход воды на травление может колебаться в весьма широких пределах.

Сточные воды из травильных ванн содержат кислоту и железо и в

современных условиях направляются на установку по извлечению из них железного купороса. Стоки от промывки металла после травления поступают на нейтрализацию известью и осветление; сюда же поступает и известковая вода. Нейтрализованные и осветленные сточные воды от промывки металла обычно используются на те же цели с устройством самостоятельного цикла оборотного водоснабжения.

Примерное среднее потребление воды (в м³ на 1 т проката) для нагревательных колодцев, печей и прокатных станов (включая гидрав-

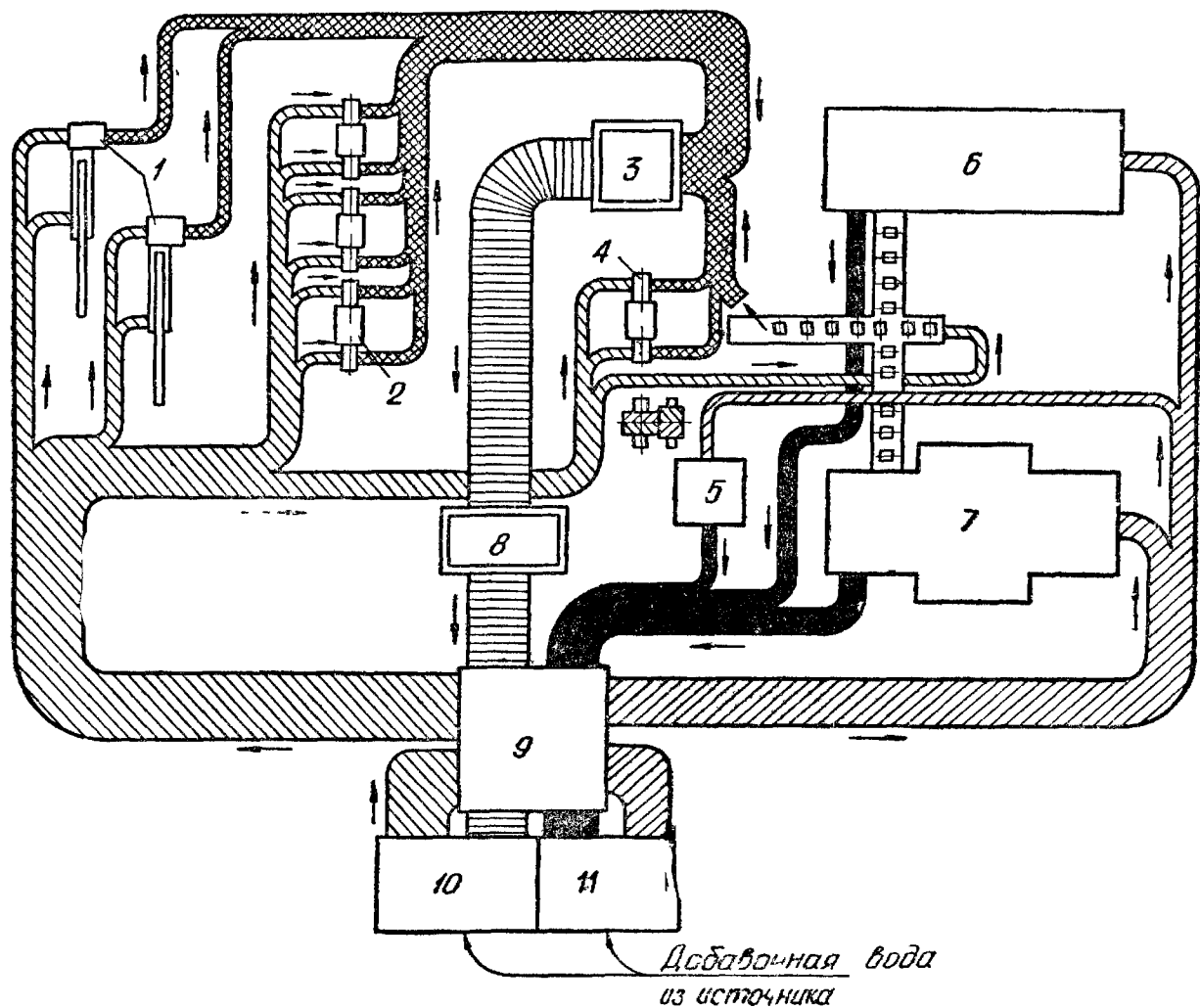


Рис VII 34

1 — ножницы; 2 — прокатные клетки; 3 — первичный отстойник (яма окалины); 4 — обжимная клетка; 5 — охлаждение масла; 6 и 7 — нагревательная печь № 1 и 2; 8 — вторичный отстойник; 9 — насосная станция оборотной воды; 10 — охладители загрязненной оборотной воды; 11 — охладители чистой оборотной воды

лическое удаление окалины) составляет: крупный сорт и товарные заготовки — 25, прокат сортовой разный — до 53, прокат горячий листовой — 40, прокат мелкосортной — 63, прокат проволоочный — 76, трубы катанные — от 20 до 90. При этом требуется 4—5% свежей воды. Коэффициент часовой неравномерности расхода воды на прокатные станы колеблется в пределах от 1,15 до 1,5.

Водоснабжение прокатных цехов оборотное, обычно с отдельной (по разным трубам) подачей воды: к нагревательным печам — чистой воды, к прокатным станам — загрязненной воды (рис. VII.34).

В прокатных цехах основное внимание должно быть обращено на обеспечение бесперебойности поступления воды к нагревательным печам. Вода протекает здесь по подовым или глиссажным трубам, по ко-

торым непрерывно передвигаются слитки стали, нагреваемые перед прокаткой. В случае прекращения поступления воды к нагревательным печам через непродолжительное время (как только испарится оставшаяся в трубах вода) глиссажные и подовые трубы сгорают, и продвижение стальных слитков в печи прекращается. В результате нарушается весь цикл прокатки металла, а нагревательные печи требуют ремонта. С целью повышения надежности водоснабжения нагревательных колодцев и печей создается запас воды, хранимый в водонапорной башне и обеспечивающий питание системы водой в течение 20—30 мин.

Прекращение подачи воды к прокатным станам также недопустимо, хотя оно и не представляет здесь такой опасности, как для нагревательных печей. В случае прекращения поступления воды прокатные станы должны быть остановлены во избежание порчи подшипников и валков; допустимо лишь кратковременное снижение подачи воды на 25—30 %.

Аналогично потребление воды и в метизных цехах (цехах по изготовлению металлических изделий). Здесь вода расходуется на охлаждение деталей нагревательных, отжигательных и термических печей, иногда на закалку обрабатываемых деталей в количестве от 15 до 500 м³ на 1 т изделий. Применяется система оборотного водоснабжения.

§ 165. ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

В последнее время в нашей стране и за рубежом широко внедряется система испарительного охлаждения металлургических печей (доменных, мартеновских, электроплавильных, нагревательных и вагранок), разработанная д-ром техн. наук проф. С. М. Андоньевым. При испарительном охлаждении тепло от нагретых элементов печи отводится водой, нагревающейся до образования пароводяной эмульсии. При этом используется скрытая теплота парообразования, т. е. тепло, отбираемое охлаждающей водой, затрачивается на ее испарение. В холодильники печи подается вода, освобожденная от солей жесткости и лишенная

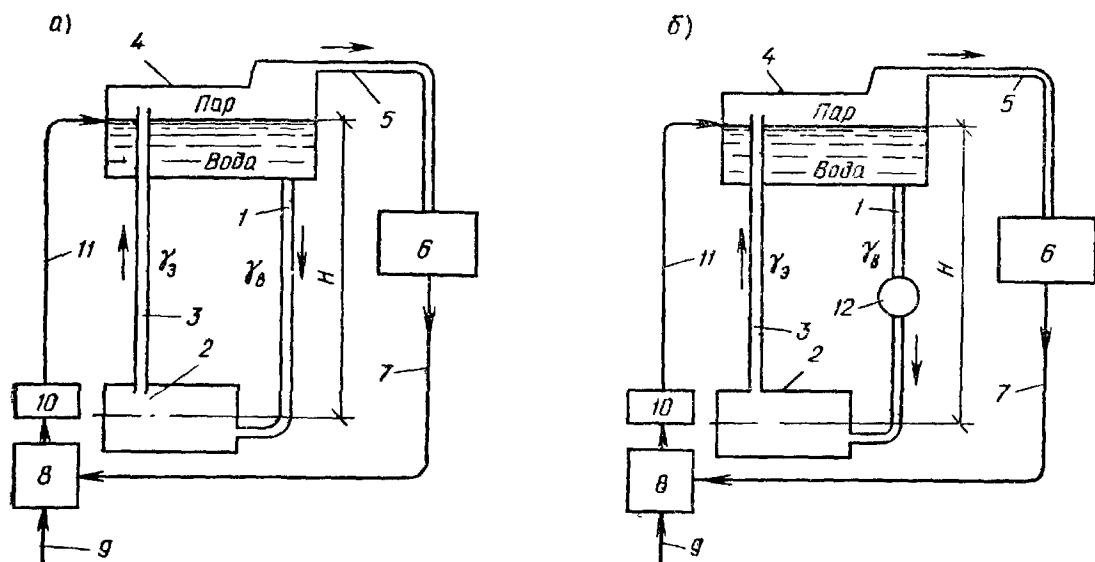
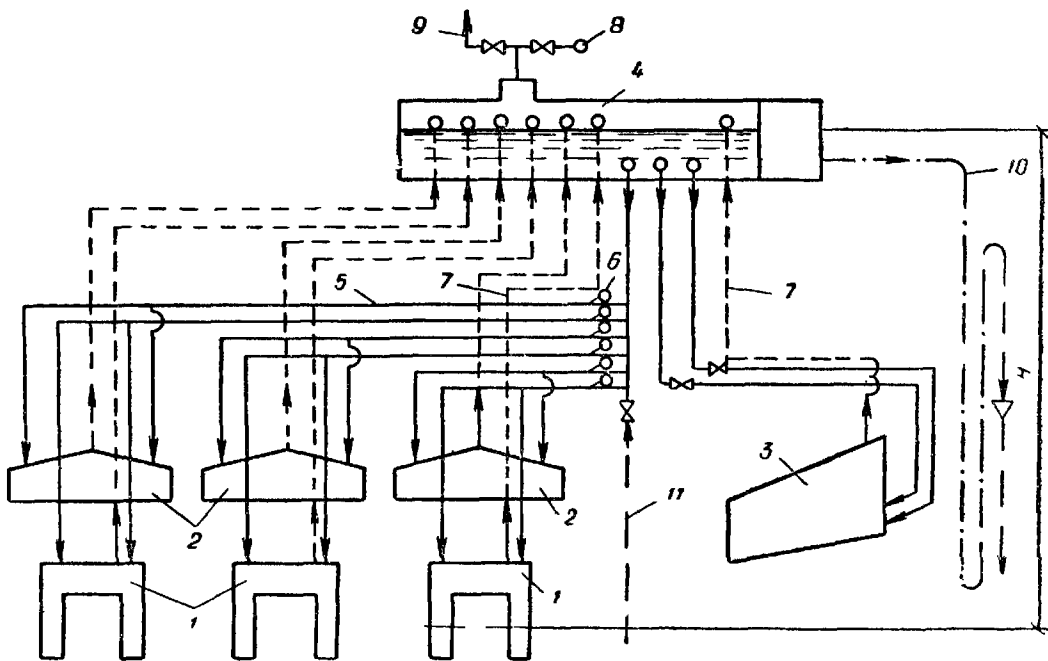


Рис. VII 35

1 — линия охлаждающей воды; 2 — охлаждаемая печь или деталь; 3 — линия пароводяной эмульсии от агрегата; 4 — бак сепаратор пара; 5 — паропровод к потребителям пара; 6 — потребители пара; 7 — линия конденсата пара; 8 — химводоочистка; 9 — подача воды из источника; 10 — насосная станция; 11 — линия умягченной воды и конденсата на восполнение потерь воды в системе; 12 — циркуляционный насос системы испарительного охлаждения

Рис. VII 36

1, 2 и 3 — охлаждаемые детали (рамы завалочных окон, пятовые балки и кессоны); 4 — бак-сепаратор пара; 5 — система питающих труб; 6 — регулировочные вентили; 7 — система труб, отводящую пароводяную эмульсию; 8 — коллектор пара; 9 — выпуск пара в атмосферу; 10 — гидрозатвор (труба); 11 — подвод добавочной воды



коррозионных свойств. Получаемый пар используется на технологические нужды завода.

На рис. VII.35 приведены две схемы испарительного охлаждения металлургических печей: а — с естественной циркуляцией воды и б — с принудительной циркуляцией воды.

Расход воды в м³/ч при испарительном охлаждении может быть определен по формуле

$$W = \frac{Q}{[539 + (t_2 - t_1) c] 10^3},$$

где 539 — скрытая теплота парообразования в ккал/кг;

t_1 — температура воды, поступающей в холодильники, принимаемая равной около 97° С;

t_2 — температура пароводяной эмульсии, отходящей от холодильников, принимаемая равной около 105° С.

При испарительном охлаждении 1 кг воды, испаряясь, отбирает у охлаждаемой детали 539 ккал. Кроме того, поступающая в систему вода, нагреваясь до кипения, отбирает еще 70 ккал. Чтобы отобрать такое же количество тепла при водяном охлаждении при повышении температуры воды на 10° С потребовалось бы $(539 + 70)/10 \approx 60$ кг воды, т. е. в 60 раз больше, чем при испарительном охлаждении.

В схеме с естественной циркуляцией вода, нагретая теплом охлаждаемого элемента, циркулирует в трубах через расположенный на высоте H бак-сепаратор под действием разности удельных весов воды γ_v и пароводяной эмульсии $\gamma_э$; при этом $\gamma_v > \gamma_э$ и движущая сила в кгс/м² равна:

$$P_d = H(\gamma_v - \gamma_э).$$

В схеме с принудительной циркуляцией вода из бака-сепаратора подается к детали с помощью специального насоса, при этом давление в системе может быть доведено до 18—40 кгс/см².

Схема испарительного охлаждения одной половины 130-тонной газовой мартеновской печи с естественной циркуляцией воды показана на рис. VII.36.

Испарительное охлаждение имеет следующие достоинства: 1) вода необходима на охлаждение деталей лишь нижнего строения металлур-

гических печей, т. е. требуется примерно 30% ее общего расхода при водяном охлаждении; 2) обеспечивается надежность работы печи и сокращаются ее простои для ремонта охлаждаемых деталей; 3) используется тепло охлаждающей среды в виде пара; 4) уменьшаются в три раза объем сооружений и мощность системы водоснабжения

До настоящего времени системы испарительного охлаждения доменных печей резервируются устройством водяного охлаждения, что вызывает дополнительные капиталовложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Покровский В. Н. Водоснабжение тепловых электрических станций М, Госэнергоиздат, 1958

Шабалин А. Ф. Водоснабжение и водоотведение на предприятиях черной металлургии М, Металлургиздат, 1955

Шабалин А. Ф. Обратное водоснабжение промышленных предприятий М, Стройиздат, 1972

Шабалин А. Ф. Эксплуатация промышленных водопроводов М, «Металлургия», 1972

Глава 33

**СИСТЕМЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Сельское хозяйство является одной из ведущих отраслей народного хозяйства. В сельской местности проживает немногим меньше половины населения нашей страны. Рост благоустройства сельских поселков, а также развитие сельскохозяйственного производства в последние годы предопределили высокие темпы развития сельскохозяйственного водоснабжения.

Вода в сельском хозяйстве расходуется в значительных количествах на хозяйственно-питьевые нужды населения, на животноводческих фермах, на предприятиях по первичной переработке сельскохозяйственной продукции, на приготовление жидких подкормок для пропашных культур, на охлаждение двигателей сельскохозяйственных машин и автомобилей, на полив растений в парниках и теплицах.

Для удовлетворения перечисленных потребностей в воде используются системы сельскохозяйственного водоснабжения, а для полива всевозможных сельскохозяйственных культур в открытом грунте — оросительные системы.

При проектировании систем сельскохозяйственного водоснабжения следует пользоваться строительными нормами и правилами, а также соответствующими ведомственными указаниями и рекомендациями.

Системы сельскохозяйственного водоснабжения по их назначению можно подразделить на следующие группы: 1) системы водоснабжения поселков совхозов и колхозов, а также ремонтно-технических станций; 2) системы водоснабжения животноводческих промышленных комплексов и отдельно стоящих ферм; 3) системы пастбищного водоснабжения; 4) системы полевого водоснабжения. Каждая из перечисленных групп имеет свои специфические особенности в части организации водоснабжения и его схемы.

**§ 166. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОСЕЛКОВ
СОВХОЗОВ И КОЛХОЗОВ**

Эти системы подают воду на нужды населения, животноводства, парка сельскохозяйственных машин и автомобилей, ремонтных мастерских, предприятий по первичной переработке сельскохозяйственных продуктов (маслозаводы и др.), для полива растений в теплицах и парниках и для пожаротушения.

В качестве источников водоснабжения сельских населенных мест в первую очередь стремятся использовать подземные воды и только в тех случаях, когда качество их оказывается неудовлетворительным или дебит подземных источников мал, используются воды поверхностных источников.

При наличии хорошо защищенных с поверхности подземных вод, качество которых отвечает требованиям ГОСТ 2874—73 «Вода питьевая», система водоснабжения сельского поселка будет состоять из водозаборного сооружения в виде двух или нескольких трубчатых колодцев,

оборудованных погружными насосами, из регулирующих резервуаров, насосной станции второго подъема и разводящей сети.

На насосной станции второго подъема устанавливают хозяйственные насосы с производительностью, позволяющей подавать и пиковые, и минимальные расходы воды, а также пожарный насос, параметры которого обеспечивают тушение пожара непосредственно из пожарных гидрантов (без пожарной машины).

В здания административного и культурно-бытового назначения, в больницы, детские сады, ясли и многоэтажные жилые здания, а также

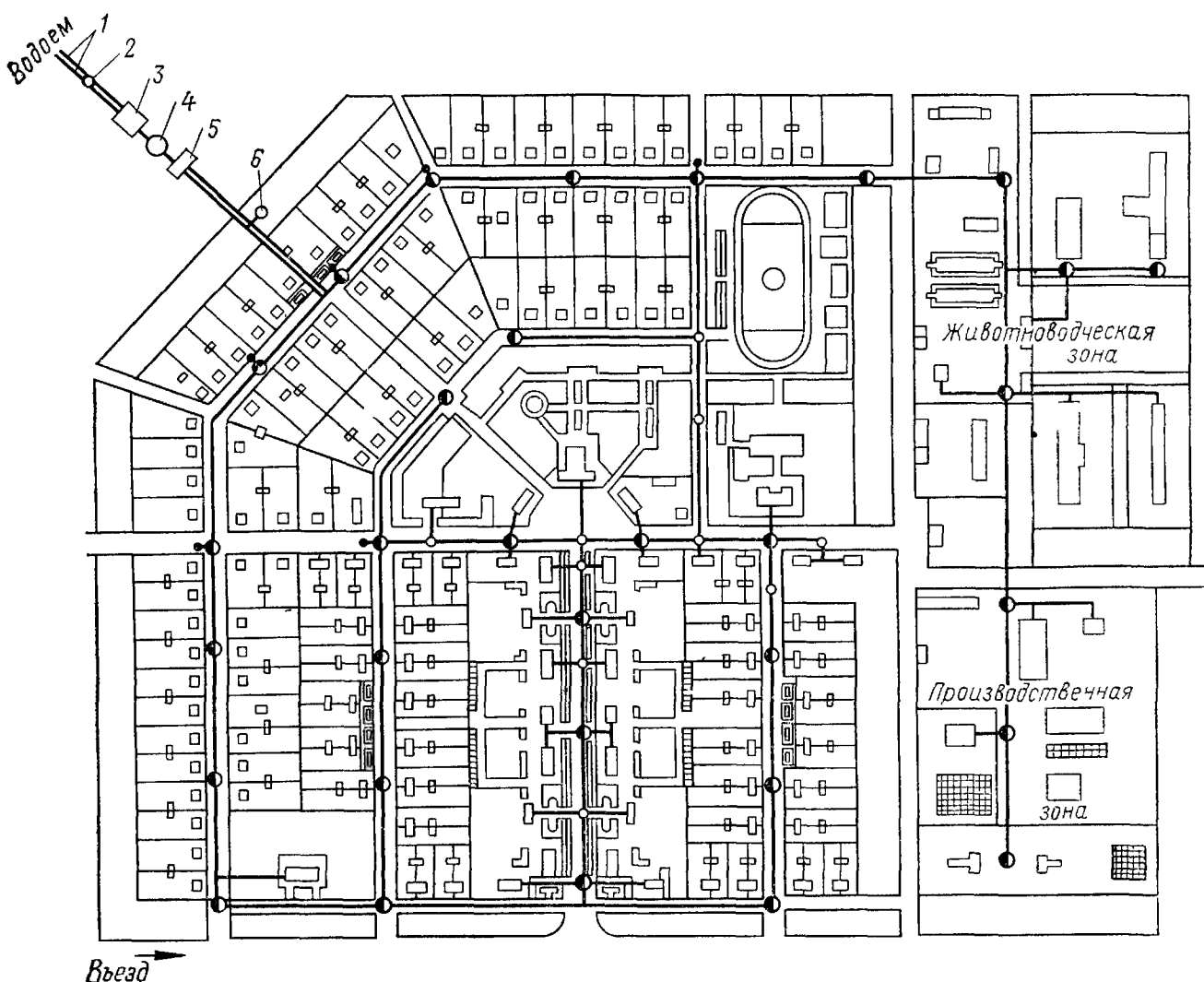


Рис. VIII.1

- Водопроводный струбай колодец
- Водоразборная колонка
- Пожарный гидрант

1 — самотечные линии от водоприемного оголовка, 2 — береговой колодец с насосной станцией первого подъема; 3 — очистные сооружения; 4 — резервуар; 5 — насосная станция второго подъема; 6 — водонапорная башня

в помещения ремонтно-механических мастерских и животноводческих ферм устраиваются водопроводные вводы. Население, проживающее в одноэтажных жилых зданиях, получает воду, как правило, из водоразборных колонок.

В тех случаях, когда качество подземных вод не отвечает требованиям ГОСТ к питьевой воде, система водоснабжения дополняется устройствами для обработки воды. Такая система водоснабжения обеспечивает сельское население доброкачественной и сравнительно дешевой водой.

При использовании для целей водоснабжения поверхностного ис-

точника (реки, озера) система водоснабжения меняется в отношении типа водоприемного сооружения, а также сооружений для очистки и обеззараживания воды.

Система водоснабжения центральной усадьбы совхоза с использованием поверхностного источника показана на рис. VIII.1.

В системах сельскохозяйственного водоснабжения широкое применение нашли безреагентные способы осветления воды на медленных фильтрах.

В ряде сельскохозяйственных районов нашей страны подземные воды сильно минерализованы, а поверхностные источники не обеспечивают необходимого количества воды в засушливые периоды. В таких случаях для водоснабжения совхозов и колхозов воду забирают из многоводных надежных источников, иногда значительно удаленных от водопотребителей. Поскольку подвод воды на большое расстояние обходится дорого, целесообразно устраивать общую систему водоснабжения для группы хозяйств. Так, в районах освоения целинных земель построены и строятся групповые водопроводы для водоснабжения совхозов и колхозов. Наиболее крупные из них Ишимский и Булаевский групповые водопроводы подают воду 420 населенным пунктам; суточная производительность их фильтровальных станций составляет 120 тыс. м³, протяженность сетей магистральных водоводов равна 3500 км. На рис. VIII.2 приведена схема одного из групповых водопроводов, построенного в Центральном Казахстане.

Несколько более мелких групповых систем водоснабжения имеется в Ставропольском крае, степной части Крыма, в Голодной степи. Распространены групповые системы водоснабжения и на Кавказе.

Нередки случаи, когда для водоснабжения совхозов и колхозов вода забирается из каналов обводнительно-оросительных систем.

В районах с дефицитом пресных вод для водоснабжения сельских поселков используют и минерализованные воды подземных и поверхностных источников. При этом минерализованная вода опресняется до необходимых пределов для хозяйственно-питьевых нужд и для других целей.

Учитывая, что опреснение воды существующими способами обходится дорого, рекомендуется устраивать дуплексные системы водоснабжения, т. е. системы, подающие и пресную, и минерализованную воду. На рис. VIII.3 показана схема головных сооружений дуплексной системы водоснабжения.

§ 167. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ФЕРМ

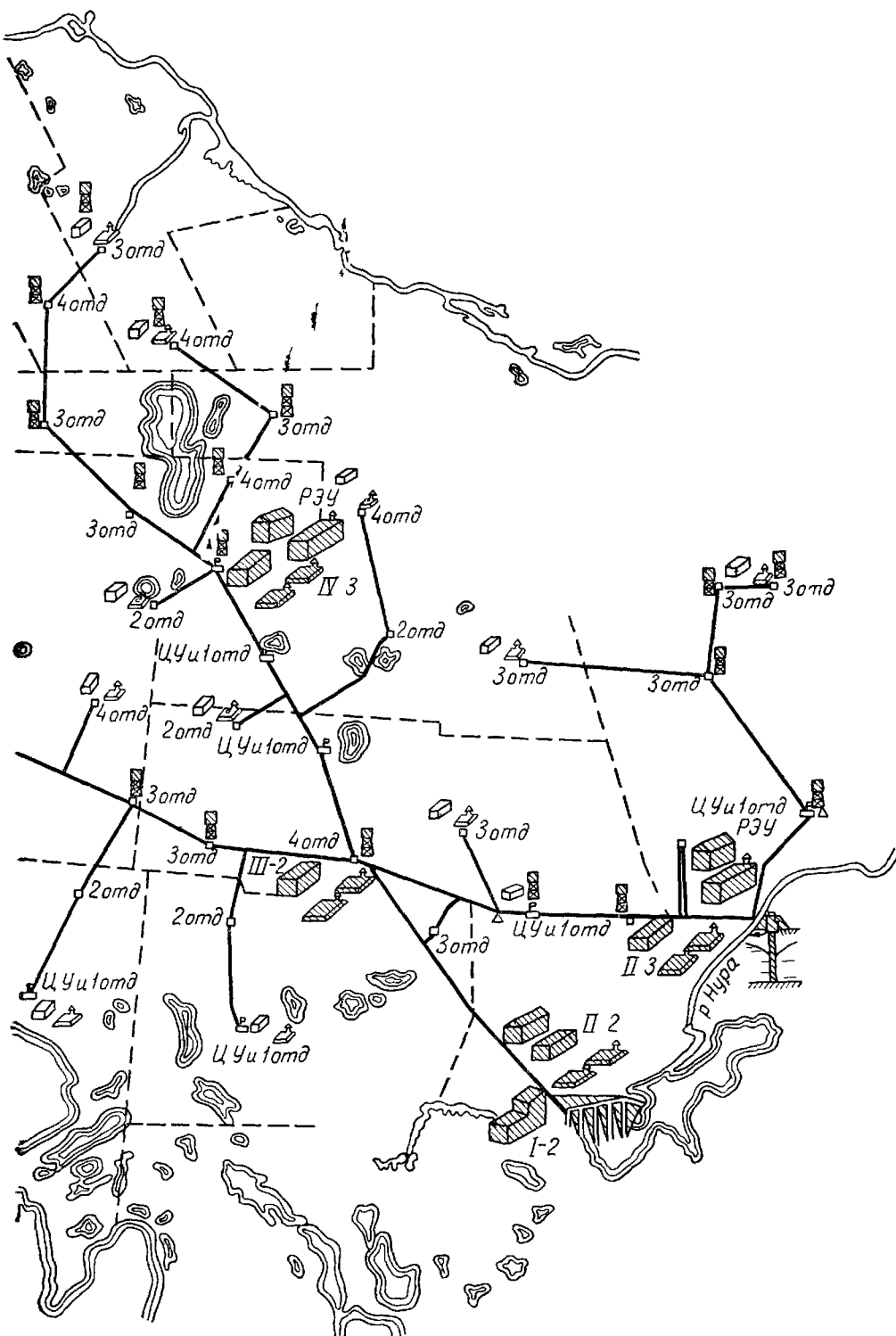
Системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов обеспечивают подачу воды в необходимом количестве и соответствующего качества всем потребителям, а также на противопожарные нужды.

Расчетные размеры водопотребления определяются в соответствии с приведенными в § 170 нормами.

Расчетный расход воды на наружное пожаротушение в животноводческом комплексе или на ферме в зависимости от их размера колеблется от 5 до 20 л/с при продолжительности тушения пожара 3 ч.

Расходы воды в животноводческих комплексах достигают следующих величин (в м³/сутки):

комплекс по производству молока (1200 голов)	.	.	380
» » » говядины (10 тыс. голов)	.	.	600
» » » свинины (108 тыс. голов)	.	.	3000



- Магистральные водоводы
 - - - - - Границы совхозов
 □ Центральные усадьбы совхозов
 □ Отделения совхозов
 ▲ Хлебоприемные пункты
 ■ Железнодорожные станции
 Насосные станции II III IV V подъёмов
 Тупиковые насосные станции
 Насосные станции подкачки
 Временные водонапорные башни

- Жилпоселки
 Ремонтно эксплуатационные участки
 Очистные сооружения
 Гидроузел с насосной станцией I подъёма
 Скважинные водозаборы

Наиболее распространенная схема механизированного водоснабжения животноводческих ферм состоит из следующих сооружений: водозабора с насосной станцией, разводящей сети и регулирующих сооружений (водонапорной башни и резервуара для хранения противопожарного запаса воды). В случаях, когда этого требует качество воды источника, схема водоснабжения дополняется сооружениями по очистке и обеззараживанию воды.

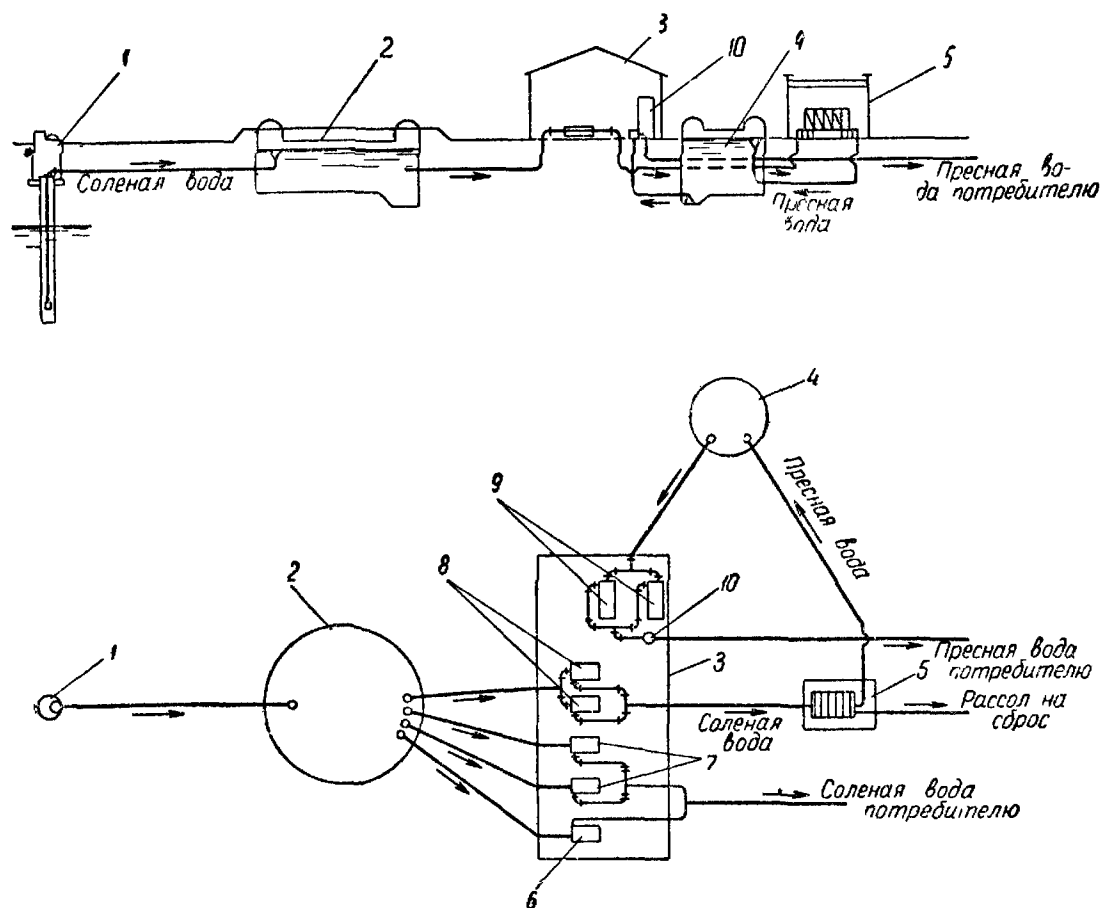


Рис. VIII.3

1 — водозабор и насосная станция первого подъема; 2 — резервуар соленой воды; 3 — насосная станция второго подъема; 4 — резервуар пресной воды; 5 — опреснительная установка; 6 — пожарный насос, 7 — насосы, подающие соленую воду потребителю; 8 — насосы, подающие соленую воду на опреснитель; 9 — насосы, подающие пресную воду потребителю, 10 — пневматическая установка

На рис. VIII.4 представлена наиболее распространенная схема водоснабжения животноводческой фермы (на 400 молочных коров). Из трубчатого колодца вода забирается погружным электронасосом и подается в водонапорную башню и разводящую сеть животноводческой фермы. Практикой установлено, что емкость бака водонапорной башни должна быть равна 12—15% расчетного суточного расхода воды на ферме. Типовые водонапорные башни для животноводческих ферм имеют баки емкостью 25 м³.

Камеры насосных станций на трубчатых колодцах, водонапорные и регулирующие сооружения, а также смотровые колодцы на водопроводной сети выполняют из сборных железобетонных конструкций.

Водопроводную сеть выполняют из асбестоцементных или полиэтиленовых труб, а вводы в скотные дворы и другие помещения на ферме — из чугунных труб.

В промышленных животноводческих комплексах применяются безбашенные системы водоснабжения высокого давления.

Для водоснабжения ферм с расходом воды до 40 м³/сутки часто ис-

пользуются близко расположенные к поверхности земли подземные воды, забираемые шахтными колодцами. В этих случаях для подъема воды применяются автоматические пневматические установки.

На рис. VIII.5 приведена схема насосной установки для пневматической системы водоснабжения с забором воды из шахтного колодца, оборудованного пневматической автоматической установкой ВУ-5-30. Производительность установки 5 м³/ч, напор 30 м.

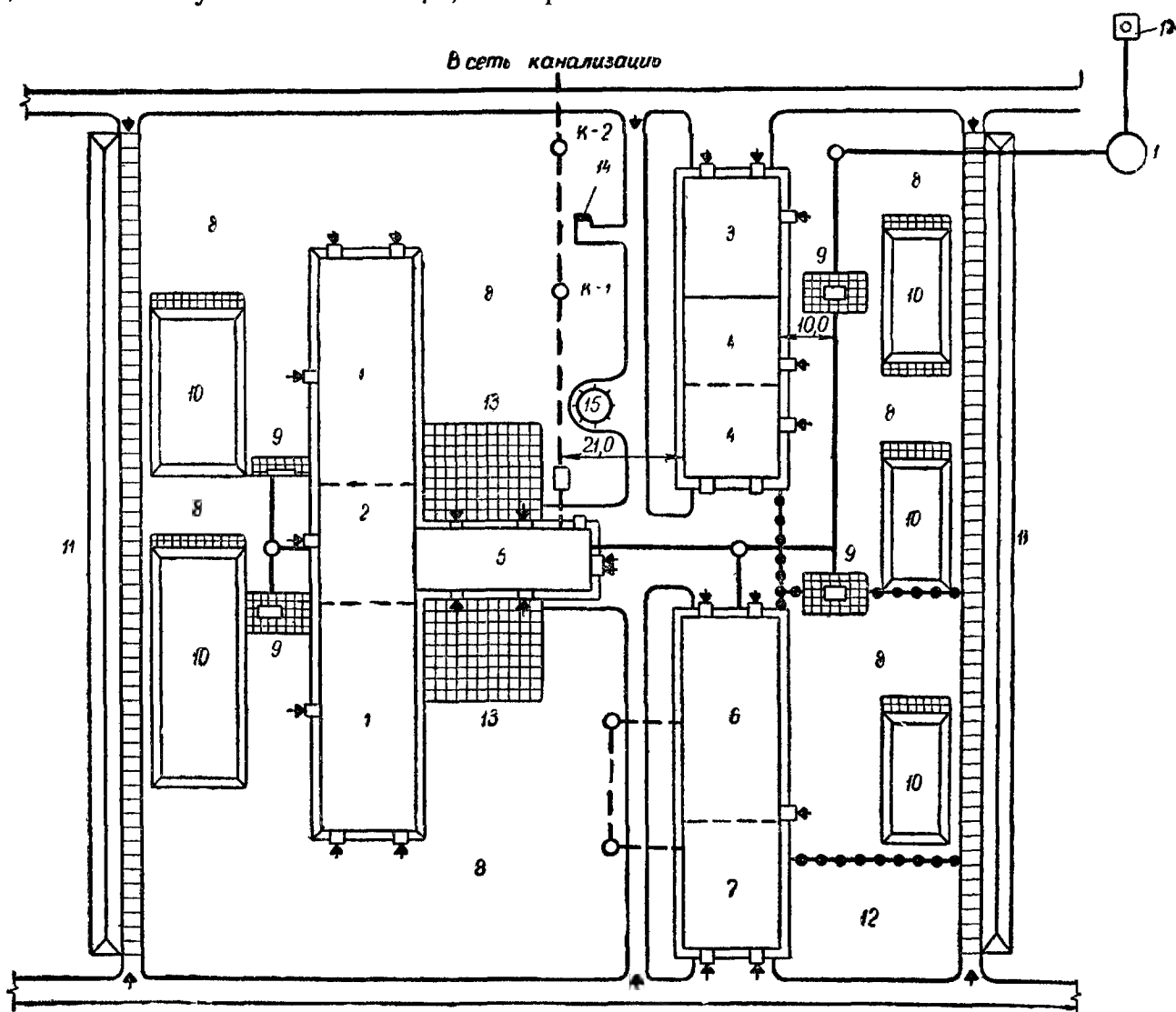


Рис. VIII.4

1 и 2 — секции для коров; 3 и 4 — секции для ремонтного молодняка; 5 — доильное помещение; 6 — телятник; 7 — родильное отделение; 8 — выгульные дворы; 9 — групповые поилки; 10 — силосные траншеи; 11 — склады грубых кормов; 12 — хозяйственный двор; 13 — преддольная площадка; 14 — уборная; 15 — пожарный резервуар емкостью 100 м³; 16 — водонапорная башня; 17 — трубчатый колодец с насосной станцией

Принцип действия установки ВУ-5-30 заключается в следующем. При разборе воды на ферме давление в сети падает. Когда давление в сети упадет до нижнего предела, на который отрегулировано реле давления, насос включается и работает до того момента, пока давление воздуха в воздушно-водяном котле не достигнет верхнего предела, на который также отрегулировано реле давления. Воздушно-водяной котел имеет небольшой регулирующий объем воды. Таким образом, при малом расходе воды на ферме установка будет включаться редко, но в часы, когда расход воды равен производительности насоса, установка будет работать непрерывно до тех пор, пока расход на ферме не уменьшится. При этом насос поднимает давление в воздушно-водяном котле до верхнего предела и реле давления выключает электродвигатель насоса.

По такому же принципу работает установка с погружным насосом (ВУ-7-65). Эта установка предназначена для подъема воды из трубчатых колодцев диаметром 150 мм с динамическим уровнем воды, находящимся на глубине до 40 м. Производительность установки 7,5 м³/ч, напор до 65 м.

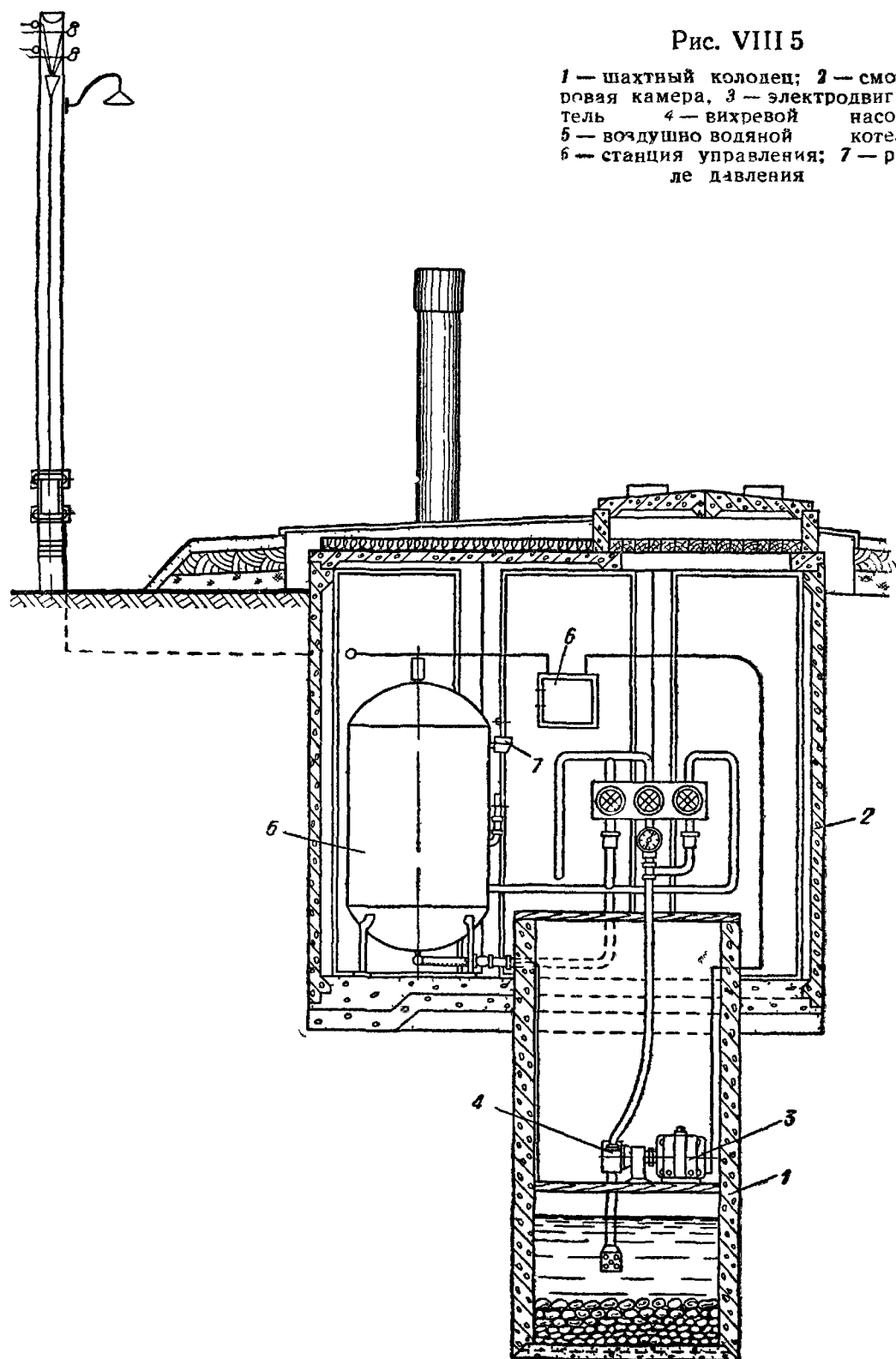


Рис. VIII 5

- 1 — шахтный колодец; 2 — смотровая камера; 3 — электродвигатель; 4 — вихревой насос; 5 — воздушно водяной котел; 6 — станция управления; 7 — реле давления

§ 168. СИСТЕМЫ ПАСТИЩНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

На естественных пастбищах пустынной и полупустынной зон Средней Азии и Казахстана, дающих народному хозяйству нашей страны 40% мяса, 60% шерсти и 100% каракуля, водоснабжение осуществляется в основном с помощью водопойных пунктов.

Обеспечение нужд животноводства в воде в этих зонах представляет

собой сложную задачу, решение которой зависит от характера источника водоснабжения и других местных условий.

Расходы воды на водопойных пунктах невелики, обычно от 5 до 20 м³/сутки, так как принято, что водопойный пункт должен обслуживать

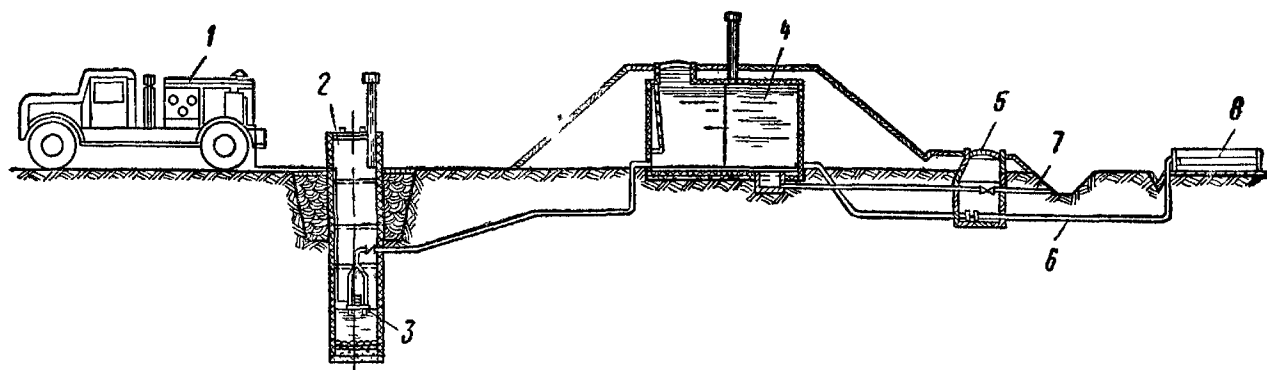


Рис VIII 6

1 — передвижная электростанция 2 — шахтный колодец 3 — плавающий насос, 4 — резервуар емкостью 10 м³, 5 — смотровой колодец, 6 — подающая труба, 7 — грязевая труба, 8 — водопойное корыто

не более 2000 голов овец, или 250 голов крупного рогатого скота, или 250 лошадей.

Режим водопотребления на водопойных пунктах имеет свои особенности. Летом в жаркие дни скот пригоняют на водопой 2—3 раза. Таким образом, суточная потребность в воде покрывается за два-три приема. Зимой скот на пастбищах потребляет значительно меньше воды. Это следует иметь в виду при проектировании водоснабжения на пастбищах.

На водопойных пунктах для поения скота допускается использование воды непитьевого качества. Минеральный состав воды должен отвечать требованиям, приведенным в табл VIII.4 (см. далее). Для людей, обслуживающих скот на пастбищах, вода должна отвечать требованиям ГОСТ 2874—73. Норма водопотребления для людей принимается в размере 30—40 л/сутки на одного человека. Из этого количества на питье и приготовление пищи воды расходуется примерно 10—15%, т. е. требуется в день на человека 4—6 л воды питьевого качества.

Если учесть, что бригада чабанов состоит из трех человек, то с учетом коэффициента семейности количество потребителей воды питьевого качества составит 10—15 человек, а размер водопотребления около 100 л/сутки.

В зависимости от наличия источников с водой питьевого качества следует решать схему снабжения водой чабанов и членов их семей.

В ряде случаев эту воду подвозят на расстояние до 20 км от источников питьевой воды или воды, требующей минимальных затрат на ее очистку.

Деминерализация воды, ее очистка и обеззараживание в необходимых случаях производятся с помощью передвижных установок, обслуживающих группу бригад чабанов.

Схема водоснабжения водопойного пункта состоит из следующих сооружений: водозабора с водоподъемной установкой, регулирующей емкости и водопойной площадки с корытами.

На рис. VIII.6 приведена схема водоснабжения водопойного пункта с забором воды из шахтного колодца и питанием насоса электроэнергией от передвижной электростанции.

На пустынных пастбищах южных районов для подъема воды из шахтных и трубчатых колодцев могут использоваться возобновляемые источники энергии (ветер и солнце). При применении водоподъемных устано-

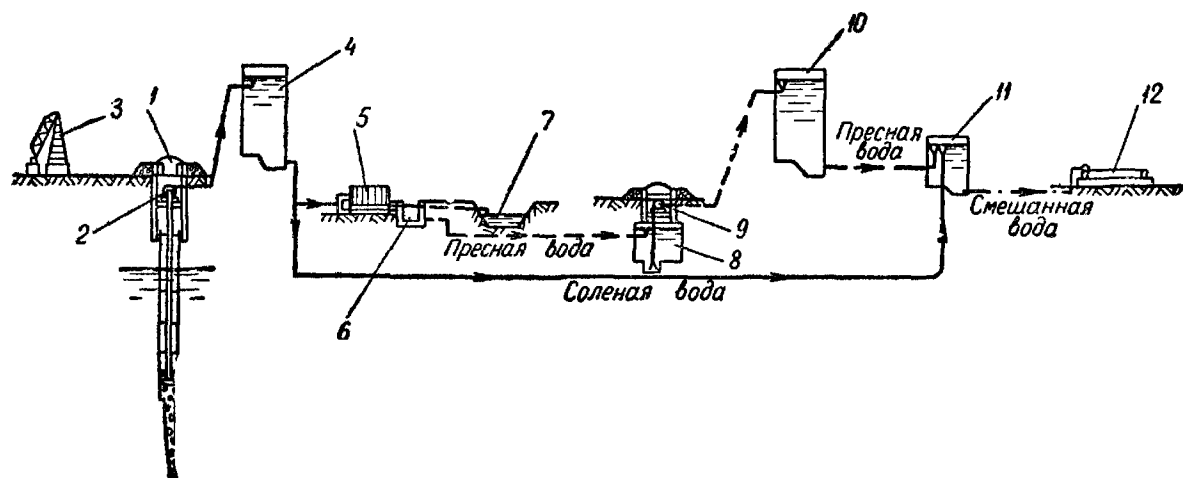


Рис. VIII.7

1 — шахтный колодец; 2 — насос для подъема соленой воды; 3 — солнечная энергетическая установка; 4 — резервуар соленой воды; 5 — парниковый опреснитель; 6 — фильтр отстойник дистиллята; 7 — выпарная площадка рассола; 8 — резервуар-сборник пресной воды; 9 — насос для подъема пресной воды; 10 — резервуар пресной воды; 11 — резервуар-смеситель для воды; 12 — водопойная площадка

вок с приводом от ветра или солнечных генераторов необходимо предусматривать резервную емкость для воды на период безветрия или отсутствия солнца. Эти источники энергии могут использоваться также и для опреснения воды. На рис. VIII.7 показана технологическая схема размещения оборудования и сооружений водопойного пункта с использованием энергии солнца для подъема и опреснения воды. По такой схеме построен водопойный пункт в пустыне Кара-Кум.

В ряде пастбищных районов Кавказа и Средней Азии не представляется возможным для каждого водопойного пункта иметь свои источники водоснабжения. В таких случаях строят групповые системы водоснабжения, базирующиеся на надежном источнике воды с центральным водозабором, обслуживающим с помощью сети водоводов группу водопойных пунктов. На некоторых пастбищах Казахстана воду доставляют на водопойные пункты в автоцистернах.

Водопойные пункты на пастбищах размещают в соответствии с принятыми «радиусами водопоя», т. е. расстояниями от водопойного пункта до наиболее удаленной точки пастбищного участка, обслуживаемого данным водопойным пунктом.

Сгущенность сети водопойных пунктов устанавливается технико-экономическими расчетами в зависимости от кормовой ценности пастбищ.

Выбор схемы водоснабжения водопойных пунктов на пастбищах должен решаться путем анализа технико-экономических показателей различных вариантов (локальная схема, групповая схема, подвоз воды и т. д.).

§ 169. СИСТЕМЫ ПОЛЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Особенность этих систем водоснабжения заключается прежде всего в сезонном характере их работы. Полевые, или, как их еще называют, бригадные станы работают с ранней весны и до поздней осени. В этот период система водоснабжения полевого стана должна обеспечить людей, работающих в поле, водой питьевого качества, а двигатели автомобилей, тракторов, комбайнов и других сельскохозяйственных машин — водой с жесткостью не более 7 мг-экв/л из расчета 1 л/сутки на 1 л. с. их мощности.

На полевых станах, обслуживающих пропашные культуры, необходимо предусматривать подачу воды для жидкой подкормки растений. В этих случаях суточные расходы воды могут достигать 1000—1200 м³.

Расход воды на полевом стане, обслуживающем колосовые культуры, составляет 10—15 м³/сутки, в том числе 2—3 м³/сутки воды питьевого качества.

Решение схемы водоснабжения полевого стана зависит главным образом от источника водоснабжения.

При наличии подземных вод питьевого качества с жесткостью не более 7 мг-экв/л схема водоснабжения полевого стана будет состоять из водозабора с водоподъемной установкой, регулирующей емкости, водоразборной колонки для снабжения водой людей и крана для заправки водой двигателей сельскохозяйственных машин.

При использовании источников, воды которых требуют очистки, обеззараживания и умягчения, в схему водоснабжения включается установка по улучшению качества воды. Обычно для этой цели используются передвижные установки по очистке, обеззараживанию и умягчению воды, которые монтируются на автоприцепах и обслуживают несколько полевых станков.

Здесь, так же как и в случае пастбищного водоснабжения, возможна подвозка воды автоцистернами и широкое применение для подъема воды ветродвигателей.

Глава 34

НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ

§ 170. НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Одна из главных особенностей сельскохозяйственного водоснабжения — специфические потребители воды.

Что касается сельского населения, то его требования к воде как в количественном, так и в качественном отношении аналогичны требованиям городского населения. Норма расхода воды назначается в соответствии со степенью благоустройства застройки села по табл. I.1, при этом, учитывая разницу уровней коммунального обслуживания в селе и городе, рекомендуется принимать нижний предел нормы.

Режим водопотребления жилой зоны в сельских поселках характеризуется графиками, представленными на рис. VIII.8 (данные УкрНИИГиМа).

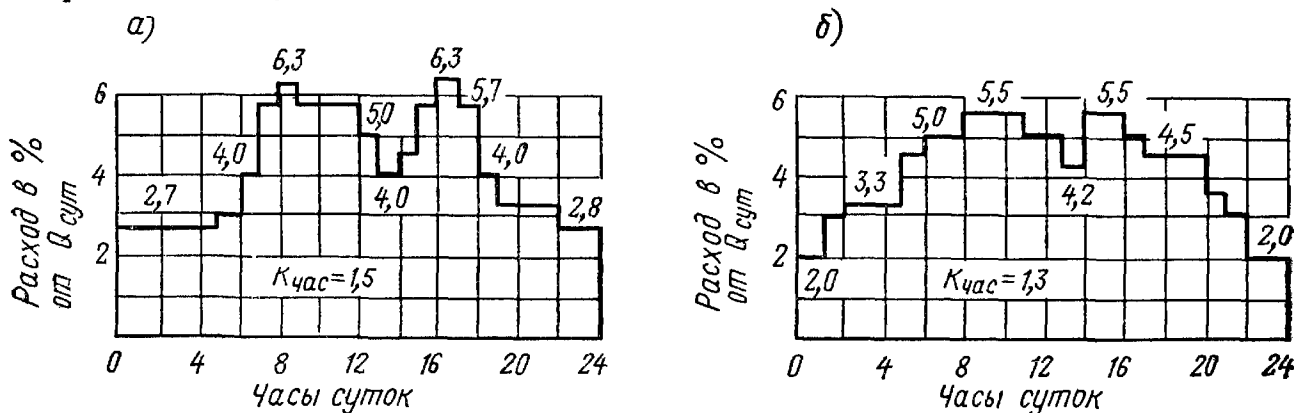


Рис. VIII.8

а — при водопотреблении 200—500 м³/сутки, б — при водопотреблении 500—1200 м³/сутки

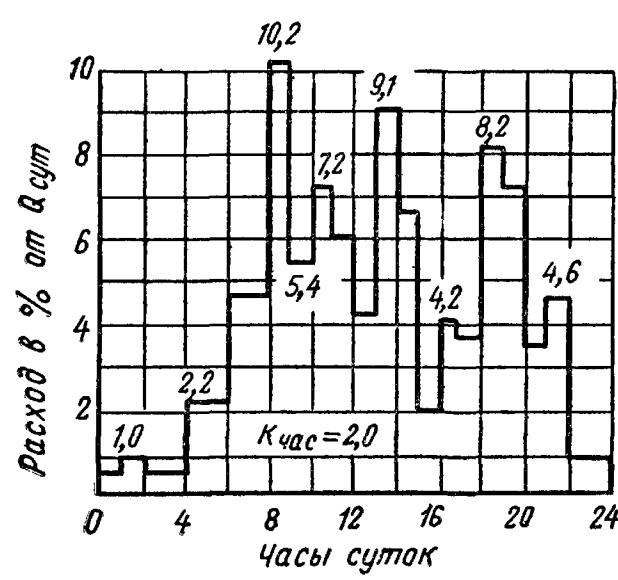


Рис. VIII.9

Таблица VIII.1

Группа животных	Норма потребления воды в л/сутки на одну голову	
	холодной	горячей
Коровы:		
молочные	85/65	15
мясные	70/65	—
Бычки, нетели	55/40	5
Телята	18/10	2
Молодняк	28/25	2

Примечание. В знаменателе приведена норма водопотребления на поение животных. Остальное количество воды идет на приготовление кормов, охлаждение молока, мойку оборудования, уборку производственных помещений и мытье животных. Коэффициент часовой неравномерности равен 2,5.

Расходы воды для производственной зоны поселка совхоза или колхоза (ремонтно-механических мастерских, электростанции, предприятий по первичной переработке сельскохозяйственных продуктов и др.) определяются в соответствии с требованиями технологической части проектов на объекты, составляющие комплекс производственной зоны.

Размеры водопотребления сельских поселков колеблются в широких пределах — от нескольких десятков до нескольких тысяч кубометров в сутки. Это зависит главным образом от направления хозяйства. Так, в хозяйствах зернового направления расходы воды в пересчете на одного жителя меньше, чем в хозяйствах животноводческого направления. Водопотребление для типовых центральных усадеб зерновых совхозов юга страны обычно составляет 1000—1500 м³/сутки.

Большое количество воды в системах сельскохозяйственного водоснабжения потребляется животноводством.

Таблица VIII 2

Группа животных	Норма потребления воды в л/сутки на одну голову
Хряки - производители	25/10
Матки:	
супоросные холостые	25/12
подсосные с приплодом	60/20
Отъемыши	5/2
Ремонтный молодняк	15/6
Свиньи на откорме	15/6

Примечание. В знаменателе приведена норма водопотребления на поение животных. Остальное количество воды идет на приготовление кормов, мойку оборудования и уборку производственных помещений. Коэффициент часовой неравномерности равен 2,5.

Таблица VIII 3

Вид птиц	Норма потребления воды в л/сутки на одну голову для птиц	
	взрослых	молодняка
Куры	1	0,5
Индейки	1,5	0,75
Утки и гуси	2	1

Примечание. Расходуемое количество воды распределяется следующим образом: поение — 50%; приготовление влажных кормов — 20%; мойка оборудования и мытье полов в птичниках при клеточном содержании птиц — 20%; сток от проточных поилок — 10%. При сухом кормлении расход воды составляет 70% общей нормы водопотребления. Коэффициент часовой неравномерности равен 2,5.

Для крупного рогатого скота, который содержится на механизированных фермах и в промышленных животноводческих комплексах, норма водопотребления принимается согласно табл. VIII.1.

Примерный расчетный график почасового водопотребления на фермах крупного рогатого скота с автопоением и механизированным доением приведен на рис. VIII.9.

Для свиноводческих ферм и комплексов норма водопотребления приведена в табл. VIII.2.

В жарких и сухих районах норму водопотребления допускается увеличивать, но не более чем на 25%. Расход воды на удаление навоза принимается отдельно в размере от 4 до 10 л на одну голову скота (зависит от способа удаления навоза).

При проектировании водоснабжения птицеферм и птицефабрик пользуются значениями нормы водопотребления, приведенными в табл. VIII.3.

Расход воды на поение овец и коз (на одну голову) составляет: для взрослых животных — 10 л/сутки, для молодняка — 6 л/сутки.

Расход воды на поение лошадей принимается равным 50 л/сутки на одну голову.

§ 171. ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ВОДЫ

Животноводческий комплекс или ферма должны быть обеспечены водой питьевого качества в соответствии с ГОСТ 2874—73. При невозможности подачи воды питьевого качества на все нужды фермы (в районах с дефицитом пресной воды) для поения животных, приготовления кормов, уборки помещений и мытья животных допускается применять минерализованную воду. Предельно допустимая минерализация скотопойной воды приведена в табл. VIII.4.

Таблица VIII.4

Группа животных	Предельно допустимая минерализация воды			
	сухой остаток	хлориды	сульфаты	общая жесткость в мг-экв/л
	в г/л			
Крупный рогатый скот	1,8—2,4	0,4—0,6	0,6—0,8	14—18
Свиньи	1—1,2	0,35—0,4	0,5—0,6	12—14
Овцы и козы	3—5	1,5—2	1,7—2,4	30—45
Лошади	1	0,35—0,4	0,5	12—15

Примечание. Верхние пределы относятся к взрослым животным, нижние — к молодняку.

При мембранных методах опреснения (электродиализ и гиперфльтрация) требуемые уровни минерализации легко могут быть достигнуты, однако при этом солевой состав воды ограничивается в основном натрием и хлоридами, что, по-видимому, не может компенсировать (в физиологическом отношении) разнообразия ионного состава подземных вод. В связи с этим должна быть предусмотрена возможность применения дополнительных приемов улучшения качества опресненной воды.

Рекомендуемая температура воды для поения животных 5—15°С. Теплая вода плохо утоляет жажду у животных. Слишком холодная вода уменьшает продуктивность скота и вызывает необходимость повышенного расходования кормов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

О в о д о в В. С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение. М., Сельхозгиз, 1960.

П а щ е н к о в Я. М., К а р а м б и р о в Н. А. и Г р и б а н о в И. П. Сельскохозяйственное водоснабжение, буровое дело и насосные станции. М., Сельхозгиз, 1957.

ТАБЛИЦА ПРЕДЕЛЬНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСХОДОВ
ДЛЯ ЧУГУННЫХ ТРУБ

Условный проход в мм	Пределные экономические расходы в л/с при значениях экономического фактора ε		
	0,5	0,75	1
100	6,4—10,6	5,7—9,4	5,2—8,4
125	10,6—16,8	9,4—15	8,4—13,3
150	16,8—28,3	15—25,3	13,3—22,4
200	28,3—51,2	25,3—45,8	22,4—40,6
250	51,2—82,2	45,8—73,5	40,6—65,3
300	82,2—121	73,5—108	65,3—96
350	121—167	108—149	96—132
400	167—220	149—197	132—175
450	220—286	197—254	175—227
500	286—394	254—352	227—313
600	394—581	352—518	313—461
700	581—808	518—722	461—642
800	808—1080	722—966	642—857
900	1080—1396	966—1250	857—1110
1000	1396—1930	1250—1725	1110—1532
1200	1930—4690	1725—4100	1532—3730

ТАБЛИЦЫ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УДЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТРУБ

Таблица 1

Расчетные значения удельных сопротивлений s_0
(для Q в м³/с) для чугунных водопроводных труб (изготавливаемых
по ГОСТ 5525—61 и ГОСТ 9583—61) при $v \geq 1,2$ м/с

Условный проход d в мм	s_0	Условный проход d в мм	s_0	Условный проход d в мм	s_0
класс ЛА		класс А			
100	311,7	350	0,4365	800	0,005669
125	96,72	400	0,2189	900	0,003047
150	37,11	450	0,1186	1000	0,001750
200	8,092	500	0,06778	1200	0,006625
250	2,528	600	0,02596	—	—
300	0,9485	700	0,01154	—	—

Таблица 2

Расчетные значения удельных сопротивлений s_0
(для Q в м³/с) для стальных водопроводных труб (изготавливаемых по ГОСТ 3262—62
и ГОСТ 10704—63) при $v \geq 1,2$ м/с

ГОСТ 3262—62		ГОСТ 10704—63	
условный проход d в мм	s_0	условный проход d в мм	s_0
50	11 080	100	172,9
70	3 009	125	76,36
80	1167	150	30,65
100	281,3	175	20,79
125	86,22	200	6,959
150	33,94	250	2,187
		300	0,8466
		350	0,3731
		400	0,1859
		450	0,09928
		500	0,05784
		600	0,02262
		700	0,01098
		800	0,005514
		900	0,002962
		1000	0,001699
		1200	0,0006543
		1400	0,0002916
		1500	0,0002023
		1600	0,0001437

Таблица 3

Поправочные коэффициенты δ_1 к расчетным значениям удельных сопротивлений s_0
для чугунных и стальных труб при скоростях $v < 1,2$ м/с

Скорость v в м/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
δ_1	1,41	1,28	1,2	1,15	1,11	1,085	1,06	1,04	1,03	1,015

Таблица 4

Расчетные значения удельных сопротивлений s_0 (для Q в м³/с) для асбестоцементных
труб различных классов (изготавливаемых по ГОСТ 539—65) при скорости
движения воды $v = 1$ м/с

Условный проход в мм	Значения s_0 для труб класса		
	ВТЗ, ВТ6, ВТ9	ВТ12	ВТЗ, ВТ6
100	187,7	—	—
125	76,08	—	—
150	31,55	39,54	—
200	6,898	8,632	—
250	2,227	2,605	—
300	0,914	1,083	—
350	0,4342	0,5115	—
400	0,2171	0,2579	—
500	0,07138	0,08489	—
600	—	—	0,02123
700	—	—	0,009536
800	—	—	0,00477
900	—	—	0,002588
1000	—	—	0,001493

Таблица 5

Поправочные коэффициенты δ_2 к расчетным значениям удельных сопротивлений s_0 для асбестоцементных труб при скоростях движения воды, отличных от $v=1$ м/с

Скорость v в м/с	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
δ_2	1,308	1,217	1,158	1,115	1,082	1,056	1,034

Продолжение табл. 5

Скорость v в м/с	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
δ_2	1,016	1	0,974	0,953	0,936	0,922	0,91

Продолжение табл. 5

Скорость v в м/с	2,2	2,4	2,6	2,8	3	4
δ_2	0,9	0,891	0,883	0,876	0,87	0,846

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие к первому изданию	3
Предисловие ко второму изданию	5
Введение	6

Раздел I

Потребности в воде и источники их удовлетворения

Глава 1. Водопотребление	15
§ 1. Основные категории водопотребления	15
§ 2. Удельные расходы и нормы водопотребления	16
§ 3. Определение расчетных суточных объемов водопотребления	19
Глава 2. Природные источники воды и их использование для целей водоснабжения	21
§ 4. Оценка природных вод как возможных источников водоснабжения	21
§ 5. Влияние хозяйственной деятельности людей на источники водоснабжения	23
§ 6. Краткая характеристика природных водных ресурсов СССР и их использование для целей водоснабжения	26

Раздел II

Общие сведения о системах водоснабжения и режиме их работы

Глава 3 Системы водоснабжения	28
§ 7. Система водоснабжения и ее основные элементы	28
§ 8. Классификация систем водоснабжения	31
§ 9. Соображения о выборе объединенной или раздельной системы водоснабжения для различных категорий потребителей в пределах объекта	32
Глава 4. Режим работы систем водоснабжения	34
§ 10. Режим водопотребления в течение суток	34
§ 11. Режим подачи воды и работы водопроводных сооружений	37
§ 12. Особенности режима работы системы подачи и распределения воды при наличии контр-резервуара или нескольких водопитателей и напорно регулирующих емкостей	43
§ 13. Особенности режима работы системы водоснабжения при пожаре	46
§ 14. Соображения о выборе расчетных случаев работы системы водоснабжения	49
§ 15. Методы определения требуемого объема регулирующих и запасных емкостей	50

Раздел III

Системы подачи и распределения воды (водопроводные сети и водоводы)

Глава 5. Общие вопросы проектирования и расчета водопроводных сетей и водоводов	53
§ 16. Основные требования, предъявляемые к водопроводным сетям. Типы сетей	53
§ 17. Отбор воды из сети	55
§ 18. Определение диаметров водопроводных линий при заданном расчетном расходе	59
§ 19. Определение потерь напора в трубах	62
Глава 6. Теоретические основы и методы гидравлических расчетов водопроводных сетей	65
§ 20. Геометрические свойства водопроводных сетей, используемые при их расчете	65
§ 21. Общая постановка задачи о расчете водопроводных сетей	66
§ 22. Начальное потокораспределение в кольцевых сетях и требования надежности	69
§ 23. Теоретические основы поверочных гидравлических расчетов водопроводных сетей	71
§ 24. Теория и методы внутренней увязки кольцевых сетей	72
§ 25. Методы поверочных расчетов сетей с учетом их совместной работы с водопитателями и при наличии нефиксированных отборов	86
§ 26. Использование вычислительных машин для расчета систем подачи и распределения воды	90
Глава 7. Основы теории и методы технико-экономических расчетов систем подачи и распределения воды	94
§ 27. Постановка задачи о технико-экономическом расчете системы подачи и распределения воды	94
§ 28. Вид функции стоимости и ее анализ	95
§ 29. Методы технико-экономического расчета сетей при заданных значениях расхода воды в линиях сети	97
§ 30. Сочетание технико-экономических расчетов с поверочными гидравлическими расчетами сетей (объем и пути использования технико-экономических принципов в реальном проектировании систем подачи и распределения воды)	101
Глава 8. Зонирование систем водоснабжения	102
§ 31. Понятие о зонных системах водоснабжения	102
§ 32. Экономический эффект зонирования	105
§ 33. Некоторые особенности проектирования и устройства зонных систем	107
Глава 9. Устройство водопроводной сети	110
§ 34. Основные требования, предъявляемые к конструкции водопроводных сетей	110
§ 35. Металлические водопроводные трубы	112
§ 36. Защита металлических труб от коррозии и мероприятия по сохранению пропускной способности водопроводных линий	116
§ 37. Неметаллические водопроводные трубы	117
§ 38. Выбор типа и класса труб в зависимости от их прочностных характеристик	120
§ 39. Области применения труб, различных по материалу	121
§ 40. Глубина заложения и укладка водопроводных труб	122
Глава 10. Арматура и сооружения на сети	124
§ 41. Запорная и регулирующая арматура	125
§ 42. Водоразборные колонки и краны	127
§ 43. Пожарные гидранты	129
§ 44. Предохранительная арматура	130
§ 45. Детализовка сети	133
§ 46. Колодцы на сети	134
§ 47. Упоры и компенсаторы	135

§ 48. Пересечение водопроводных линий с дорогами, реками и оврагами	137
Глава 11. Сооружения для транспортирования воды от источника к объекту водоснабжения (особенности проектирования и устройства)	139
§ 49. Методы транспортирования воды и основные типы транспортирующих сооружений	139
§ 50. Безнапорные водопроводные каналы	142
§ 51. Напорные гравитационные водоводы	145
§ 52. Расчет напорных водоводов по заданной степени обеспеченности подачи воды	147
Глава 12. Техническая эксплуатация водопроводных сетей и водоводов	150
§ 53. Основные задачи технической эксплуатации сетей и водоводов	150
§ 54. Ликвидация аварий на водопроводных линиях	151
Список литературы	152

Раздел IV

Водоприемные сооружения

Глава 13. Сооружения для приема воды из поверхностных источников	153
§ 55. Общие положения	153
§ 56. Классификация речных водоприемников	155
§ 57. Речные водоприемники берегового типа	156
§ 58. Примеры речных водоприемников берегового типа	165
§ 59. Речные водоприемники руслового типа	169
§ 60. Плавающие водоприемные сооружения (насосные установки)	178
§ 61. Водоприемные ковши	179
§ 62. Особенности приема воды из рек с недостаточной глубиной	185
§ 63. Особенности приема воды из горных рек	186
§ 64. Особенности приема воды из водохранилищ и озер	190
§ 65. Особенности приема воды из морей и устройства морских водоприемников	194
Глава 14. Сооружения для приема подземных вод	199
§ 66. Основные типы сооружений для приема подземных вод	199
§ 67. Конструкции и устройство трубчатых колодцев	200
§ 68. Фильтры трубчатых колодцев	202
§ 69. Расчет одиночных трубчатых колодцев (скважин)	205
§ 70. Расчет взаимодействующих трубчатых колодцев	212
§ 71. Схемы водосборных сооружений при использовании трубчатых колодцев. Оборудование колодцев	215
§ 72. Шахтные колодцы	218
§ 73. Горизонтальные водосборы	220
§ 74. Водосборы инфильтрационного типа	222
§ 75. Сооружения для каптажа родниковых вод	229
Глава 15. Охрана природных источников воды	232
§ 76. Мероприятия по охране природных вод от загрязнения их сточными водами	233
§ 77. Общие мероприятия по защите природных водоемов от истощения и загрязнения	234
§ 78. Организация и содержание зон санитарной охраны источников водоснабжения и водоприемных сооружений	234
Список литературы	236

Раздел V

Обработка воды

Глава 16. Оценка качества природной воды и основные виды ее обработки	237
§ 79. Основные характеристики качества воды природных источников и сопоставление их с нормативными требованиями к качеству используемой воды	237
§ 80. Основные задачи водопроводных очистных сооружений и основные процессы обработки воды	243
§ 81. Принципиальная схема комплекса водопроводных очистных сооружений	245
Глава 17. Коагулирование и сооружения для коагуляции	247
§ 82. Процесс коагулирования	247
§ 83. Комплекс сооружений для коагулирования	249
§ 84. Устройства для приготовления раствора коагулянта и его дозирования	250
§ 85. Смесители	254
§ 86. Камеры хлопьеобразования	257
Глава 18. Отстаивание воды	259
§ 87. Закономерности осаждения взвеси в воде	259
§ 88. Горизонтальные отстойники	264
§ 89. Вертикальные отстойники	268
§ 90. Радиальные отстойники	269
§ 91. Гидроциклоны	271
Глава 19. Осветление воды пропуском через слой взвешенного осадка	272
§ 92. Принцип работы осветлителей	272
§ 93. Типы и конструкции осветлителей	273
§ 94. Расчет осветлителей	278
Глава 20. Фильтрация воды	281
§ 95. Общие понятия о фильтрации воды	281
§ 96. Медленные фильтры	283
§ 97. Принципы работы скорых фильтров	283
§ 98. Теоретические основы процесса фильтрации воды на скорых фильтрах	285
§ 99. Фильтрующие материалы и загрузка скорых фильтров	291
§ 100. Методы расчета скорых фильтров	292
§ 101. Дренажные (распределительные) системы скорых фильтров	295
§ 102. Промывка скорых фильтров	299
§ 103. Отвод и подача промывной воды	303
§ 104. Определение полной производительности фильтровальной станции, суммарной площади и числа фильтров	305

§ 105. Регулирование скорости фильтрования	306
§ 106. Оборудование скорых фильтров и управление их работой	308
§ 107. Контактные осветлители	310
§ 108. Фильтры Академии коммунального хозяйства	312
§ 109. Микрофильтры	313
§ 110. Особенности фильтрования воды, подаваемой для производственных целей	314
Г л а в а 21. Обеззараживание воды и уничтожение в ней запахов и привкусов	319
§ 111. Задачи обеззараживания воды	319
§ 112. Хлорирование воды	320
§ 113. Перехлорирование и дехлорирование	323
§ 114. Хлорирование с аммонизацией	325
§ 115. Озонирование воды	325
§ 116. Бактерицидное облучение воды	327
§ 117. Уничтожение запахов и привкусов в воде природных источников	328
Г л а в а 22. Компонировка станций осветления и обеззараживания воды и общие вопросы их проектирования и строительства	329
§ 118. Выбор площадки для очистных сооружений и их компоновка	329
§ 119. Высотная схема очистных сооружений	330
§ 120. Подсобные и вспомогательные сооружения и помещения очистной станции	331
§ 121. Примеры компоновки очистных сооружений для осветления и обеззараживания воды	332
Г л а в а 23. Умягчение, обессоливание и опреснение воды	337
§ 122. Основы реагентного умягчения воды	338
§ 123. Установка для реагентного умягчения воды	339
§ 124. Основы катионитного умягчения воды	341
§ 125. Установки для катионитного умягчения воды	345
§ 126. Расчет установок для катионитного умягчения воды	346
§ 127. Основы обессоливания воды	349
§ 128. Обессоливание воды дистилляцией	350
§ 129. Обессоливание воды ионным обменом	351
§ 130. Опреснение воды	355
Г л а в а 24. Особые виды обработки воды	365
§ 131. Удаление из воды железа	365
§ 132. Удаление из воды растворенных газов	370
§ 133. Фторирование и обесфторивание воды	372
§ 134. Стабилизация воды	374
С п и с о к л и т е р а т у р ы	375

Раздел VI

Регулирующие и запасные емкости

Г л а в а 25. Виды регулирующих и запасных емкостей	376
Г л а в а 26. Водонапорные башни	377
§ 135. Общие сведения об устройстве и оборудовании водонапорных башен	377
§ 136. Железобетонные водонапорные башни	380
§ 137. Стальные водонапорные башни	384
§ 138. Кирпичные и деревянные водонапорные башни	384
§ 139. Водонапорные колонны	386
Г л а в а 27. Резервуары	388
§ 140. Типы резервуаров	388
§ 141. Железобетонные резервуары	389
§ 142. Оборудование резервуаров	393
Г л а в а 28. Пневматические водонапорные установки	395
§ 143. Пневматические установки переменного давления	395
§ 144. Пневматические установки постоянного давления	397
§ 145. Конструктивное оформление пневматических установок и область их применения	398

Раздел VII

Водоснабжение промышленных предприятий

Г л а в а 29. Специфические особенности использования воды на нужды промышленности	400
§ 146. Потребление воды на производственные нужды промышленности	400
§ 147. Особенности систем производственного водоснабжения	402
Г л а в а 30. Охлаждающие устройства систем оборотного водоснабжения	405
§ 148. Процессы охлаждения воды в охладителях	406
§ 149. Водоохранилища-охладители	408
§ 150. Брызгальные устройства	411
§ 151. Градирни	418
§ 152. Потери воды в охладителях	427
§ 153. Водный режим в системах оборотного водоснабжения	428
§ 154. Выбор типа охладителей	429
Г л а в а 31. Водоснабжение тепловых электростанций	431
§ 155. Конденсаторы паровых турбин	431
§ 156. Водопотребление тепловой электростанции	434
§ 157. Системы водоснабжения тепловых электростанций	437
Г л а в а 32. Водоснабжение предприятий черной металлургии	441
§ 158. Рудники, рудообогатительные и агломерационные фабрики	442
§ 159. Коксохимические заводы	444
§ 160. Металлургические заводы	447
§ 161. Доменные цехи	448
§ 162. Цехи очистки доменного газа	450
§ 163. Сталеплавильные цехи	451
§ 164. Прокатные цехи	454
§ 165. Испарительное охлаждение металлургических печей	458
С п и с о к л и т е р а т у р ы	460

Раздел VIII

Основы сельскохозяйственного водоснабжения

Глава 33 Системы сельскохозяйственного водоснабжения 461

§ 166 Системы водоснабжения поселков совхозов и колхозов 461

§ 167 Системы водоснабжения животноводческих промышленных комплексов и ферм 463

§ 168. Системы пастбищного водоснабжения 468

§ 169 Системы полевого водоснабжения 470

Глава 34. Нормы водопотребления и требования к качеству воды 471

§ 170 Нормы водопотребления 471

§ 171 Требования к качеству воды 473

Список литературы 473

Приложения 474

Николай Николаевич Абрамов
Бодоснабжение

Изд 2-е, переработанное и дополненное
Редактор издательства М. А. Шершук ова
Внешнее оформленне художника Ю. И. Смуры гина
Технический редактор Н. Г. Бочкова
Корректоры Г. А. Кравченко, В. С. Якунина

Сдано в набор 16/I 1974 г Подписано к печати 12/IV 1974 г. Т.08006 Формат 70×108¹/₁₆ д л.
Бумага типографская № 2. 42 усл. печ л (40,41 уч-изд. л). Тираж 80 000 экз. (40 001—80 000).
Изд № А1—3001 Зак № 897. Цена в переплете № 7—1 р 74 к. Цена в переплете № 5—1 р. 55 к.

Стройиздат
103777, Москва, Кузнецкий мост, 9
Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Москва, И-41, Б Переяславская ул., дом 46